

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Синтез регулятора нестационарной системы управления шахтным подъемником на основе желаемого интервального характеристического полинома

УДК 681.51.012/.013:622.67

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Байтурсынова Алтынай Усеиновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский С. А.	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А. В.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГТ ШБИП	Скаковская Н. В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ИШИТР	Пушкарев М. И.	к.т.н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С. В.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов) Профессиональные компетенции
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники.
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами.
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Уровень образования - магистратура
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения - осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2019	Математическая модель объекта управления шахтным подъемником	10
04.03.2019	Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником	15
15.03.2019	Построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления	15
09.04.2019	Параметрический синтез регулятора системы управления шахтным подъемником	15
28.04.2019	Анализ переходных процессов системы управления шахтным подъемником при различных длинах троса	15
10.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.05.2019	Социальная ответственность	10
04.06.2019	Выводы по результатам работы	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарев Максим Иванович	К.Т.Н.		

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Математическая модель объекта управления шахтным подъемником, анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником, построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления, параметрический синтез регулятора системы управления шахтным подъемником, анализ переходных процессов системы управления шахтным подъемником при различных длинах троса
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в формате *.pptx
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Алексеев Николай Архипович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Скаковская Наталия Вячеславовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Раздел 1. Математическая модель объекта управления шахтным подъемником	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Байтурсынова Алтынай Усеиновна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Байтурсиновой Алтынай Усеиновне

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад научного руководителя – 23264 руб.; Должностной оклад инженера – 14584 руб.; Материальные затраты – 57000 руб.; Амортизация компьютерной техники – 1895 руб.; Затраты на заработную плату – 51395 руб.; Затраты на социальные нужды – 16017 руб.; Накладные расходы – 231327 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации – 25%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления – 27,1% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Составление устава научно-технического проекта. Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение затрат на проектирование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ интегральных показателей эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Итоговая матрица SWOT-анализа
3. Морфологическая матрица альтернативных решений
4. Календарный план-график выполнения проекта
5. Сравнительная эффективность разработок

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГТ ШБИП	Скаковская Н. В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Байтурсинова Алтынай Усеиновна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Байтурсиновой Алтынай Усеиновне

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Синтез регулятора нестационарной системы управления шахтным подъемником на основе желаемого интервального характеристического полинома
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Вредные факторы: 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; Опасные факторы: 1. Электрический ток 2. Опасность возникновения пожара
3. Экологическая безопасность	Источники выбросов в атмосферу; Образование сточных вод и отходов. Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Вероятные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения и меры по их предупреждению

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Байтурсинова Алтынай Усеиновна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалифицированная работа содержит 98 страниц текста, 19 рисунков, 23 таблиц, 40 литературных источников. Ключевые слова: трехмассовая электромеханическая система, масса троса, невесомый трос, быстродействие системы, интервальный характеристический полином, структурная схема системы. Объектом исследования является система управления шахтным подъемником. Цель работы – составление математических моделей, отражающих основные свойства системы управления шахтным подъемником с невесомыми и тяжелыми тросами, использование этих моделей для анализа и синтеза регулятора системы управления с интервальными параметрами, составление желаемого интервального характеристического полинома, моделирование процессов управления шахтным подъемником с синтезированным регулятором. Область применения: отрасли промышленности, где необходимо применение грузоподъемных систем, использующих длинные тросы. Получены модели трехмассовой электромеханической системы с учетом массы троса и без ее учета. На основе желаемого интервального полинома системы проведен синтез параметров регулятора и получены переходные процессы системы управления. Для подтверждения результатов анализа и синтеза выполнено компьютерное моделирование системы управления шахтным подъемником. Выполнены задания по разделам «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	11
Введение	12
1 Математическая модель объекта управления шахтным подъемником.....	15
1.1 Модель объекта управления шахтным подъемником с невесомым тросом .	15
1.2 Модель объекта управления шахтным подъемником с тяжелым тросом	19
2 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником	23
2.1 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником с невесомым тросом	23
2.2 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником с тяжелым тросом	26
3 Построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления.....	28
4 Параметрический синтез регулятора системы управления шахтным подъемником	34
4.1 Построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления шахтным подъемником.....	34
4.2 Определение настроек регулятора системы управления шахтным подъемником	36
5 Анализ переходных процессов системы управления шахтным подъемником при различных длинах троса	38
5.1 Переходные процессы при невесомом тросе	38
5.2 Переходные процессы при тяжелом тросе.....	40
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений	47
6.1.3 Swot-анализ.....	48

6.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	50
6.3	Организация и планирование работ	51
6.3.1	Продолжительность этапов работ	52
6.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	57
6.4.1	Расчет затрат на ПО	57
6.4.2	Расчет основной заработной платы	58
6.4.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	59
6.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	60
6.4.5	Прочие расходы	60
6.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
6.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	61
7	Социальная ответственность	65
7.1	Производственная безопасность	65
7.1.1	Анализ вредных и опасных факторов	65
7.1.2	Микроклимат	66
7.1.3	Шум	67
7.1.4	Недостаточная освещенность	68
7.1.4.1	Расчет искусственного освещения	69
7.1.5	Электромагнитные излучения	70
7.1.6	Электробезопасность	71
7.1.7	Психофизиологические факторы	72
7.2	Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	73
7.3	Экологическая безопасность	74
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
7.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
	Список публикаций	81
	Список использованных источников	82
	Приложение А	87

Обозначения и сокращения

ЭМС – электромеханическая система;

СУ – система управления;

ШП – шахтный подъемник;

ИХП – интервальный характеристический полином;

САУ – система автоматического управления;

ЧХ – частотная характеристика;

НР – научный руководитель;

И – инженер;

НДС – налог на добавленную стоимость;

НИР – научная исследовательская работа;

ПК – персональный компьютер.

Введение

Одним из направлений автоматизации производственных процессов в промышленности является применение грузоподъемных электромеханических систем (ЭМС), использующих длинные тросы. К таким системам относятся, например, шахтные подъемники, лифтовые подъемники, подъемные краны, подвесные дороги, буксирные тросовые механизмы, антенные установки и другие устройства [1].

Шахтная подъемная установка - это основной транспортный комплекс, связывающий поверхность с подземной частью шахты (рудника). С помощью подъемной установки может производиться осмотр и монтаж крепления ствола шахты. Помимо этого данные установки производят спуск и подъем людей, горно-шахтного оборудования и материалов. В настоящее время шахты и рудники располагаются все глубже под землей. Поэтому для сохранения высокого уровня производительности необходимо, чтобы подъемные установки имели высокую скорость перемещения подъемных сосудов и большую грузоподъемность [2].

Необходимо отметить, что ритмичная работа всей шахты зависит от надежной, бесперебойной и производительной работы шахтных подъемных установок. По этой причине к подъемным установкам предъявляются особые требования к надежности работы. Из всего стационарного оборудования на шахте подъемные машины считаются одними из самых мощных, поскольку мощность их электропривода достигает 1000 кВт, а крупных – 2000 кВт и более.

Схема подъемной установки для вертикальных стволов показана на рисунке 1[2], где обозначены: 1 - блок противовеса, 2 - противовес, 3 - трос, на котором подвешен противовес, 4 - мачта подъемника, состоящая из секций 1,5м., 5 - крепления настенные (опоры), 6 - грузовая кабина подъемника, 7 - кабина управления (машиниста), 8 - моторный отсек (каретка), 9 - укосина монтажная, 10 - электрошкаф, 11 - трос электрический, 12 - станция нижнего уровня.

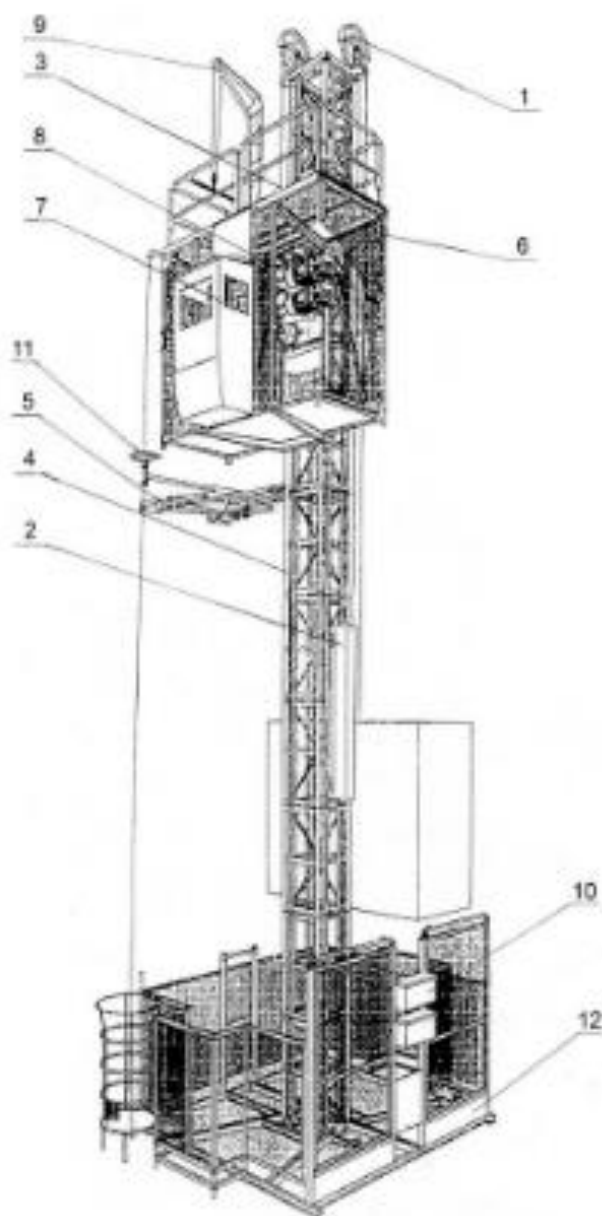


Рисунок 1 – Схема подъемной установки

В ходе исследования подъемной установки используются основные допущения [3]:

- 1) отсутствие внешнего трения и силы аэродинамического сопротивления;
- 2) отсутствие поперечных колебаний тросов;
- 3) подъемные тросы короткой длины являются невесомыми;
- 4) трос не проскальзывает в точках набегания на барабан и схода с него;

5) длинные подъемные тросы являются весомыми;

Если длина троса небольшая, то противоположного конца троса упругая волна достигает в течение очень короткого промежутка времени. Это является обоснованием одного из основных допущений при исследовании и решении задач динамики систем с сосредоточенными массами, где принято считать, что упругая волна вдоль троса распространяется мгновенно.

Если глубина шахтных подъемников превышает 1000 м, то нельзя пренебрегать временем распространения упругих волн, так как оно является существенным. Необходимо более детальное рассмотрение движения отдельных сегментов троса, учитывая, что характеристики троса имеют распределение по его длине.

Если длина троса сотни метров и даже километры, то его масса существенна и доходит до нескольких тонн. Такой трос называется тяжелым, и анализируя динамические свойства троса такого типа, надо рассматривать его элементом с массой, распределенной по длине. Различие между тяжелым тросом и невесомым заключается в том что рост силы натяжения на одном его конце передается с конечной скоростью распространения, а не мгновенно [4]-[6].

Так как при спуске или подъеме грузовой кабины ШП существенно изменяются параметры троса (в известных интервалах), то будут меняться и динамические свойства системы управления ШП. Поскольку подъемные установки являются упругими системами с возможным проявлением резонансных свойств, то главное требование к таким системам – ограничение на колебательность. Данную особенность необходимо учитывать при синтезе регуляторов систем управления ШП [1], [2].

Таким образом, целями ВКР являются составление математических моделей, отражающих основные свойства системы управления ШП с невесомыми и тяжелыми тросами, использование этих моделей для анализа и синтеза регулятора системы управления с интервальными параметрами, моделирование процессов управления ШП с синтезированным регулятором.

1 Математическая модель объекта управления шахтным подъемником

1.1 Модель объекта управления шахтным подъемником с невесомым тросом

Для математического описания шахтного подъемника использована трехмассовая электромеханическая система (рисунок 2) [7].

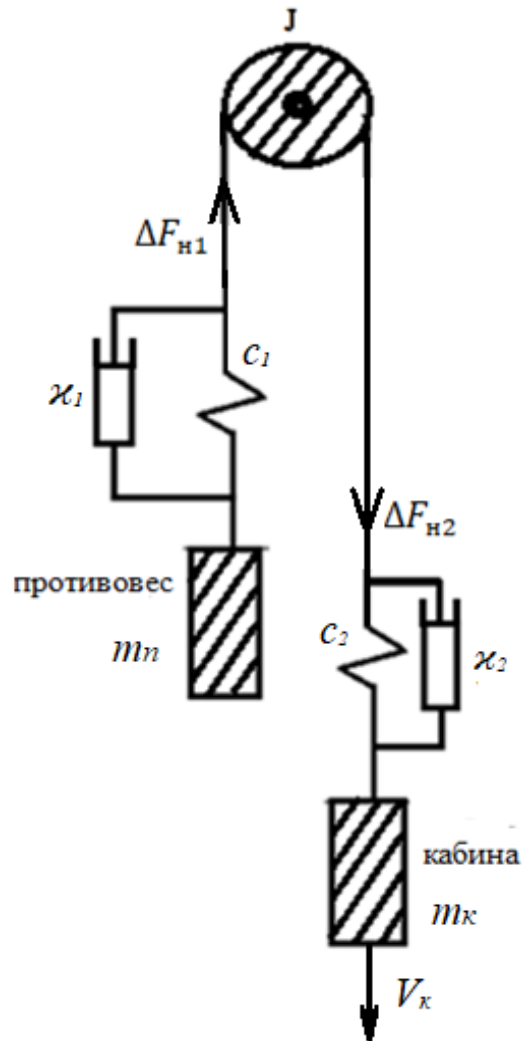


Рисунок 2 – Кинематическая схема трехмассовой системы с невесомым тросом

На основании рисунка 2 запишем дифференциальные уравнения трехмассовой системы [8]:

$$m_k \cdot s \cdot \Delta V_k = \Delta F_{н1} - \Delta F_{н2} \quad (1.1)$$

$$m_{\Pi} \cdot s \cdot \Delta V_{\Pi} = -\Delta F_{H2}, \quad (1.2)$$

$$\Delta F_{H1} = \left(\frac{c_1}{s} + \kappa_1 \right) \cdot (r \cdot \Delta \omega - \Delta V_K), \quad (1.3)$$

$$\Delta F_{H2} = \left(\frac{c_2}{s} + \kappa_2 \right) \cdot (\Delta V_n - r \cdot \Delta \omega), \quad (1.4)$$

$$J \cdot s \cdot \Delta \omega = i \cdot \Delta M + r \cdot (F_{H2} - F_{H1}), \quad (1.5)$$

$$\Delta M = C_M \cdot \Delta I_{Я}, \quad (1.6)$$

$$\Delta I_{Я} = \frac{1}{R_{Я}} \cdot \Delta U_{Я}, \quad (1.7)$$

$$\Delta U_{Я} \cdot s = \Delta U_y \cdot \beta \cdot k_{yc} \cdot (\tau \cdot s + 1), \quad (1.8)$$

$$W_{\text{рег}}(s) = (k_1 s + k_0)/s, \quad (1.9)$$

где $\Delta F_{H1}, \Delta F_{H2}$ – приращения сил натяжения соответственно первого и второго участков троса, Н;

$\Delta \omega$ – приращение угловой скорости вращения приводного блока, м/с;

ΔM – приращение вращающего момента электродвигателя, Н·м;

$\Delta V_n, \Delta V_K$ – приращения линейных скоростей соответственно центра тяжести кабины и противовеса, м/с;

$s = d/dt$ – оператор дифференцирования;

m_K, m_n – соответственно масса кабины и масса противовеса, кг;

c_1, c_2 – коэффициенты жесткости соответственно первого и второго участков троса, Н;

κ_1, κ_2 – коэффициенты внутреннего демпфирования соответственно первого и второго участков троса, Н·с;

J – приведенный к выходному валу редуктора суммарный момент инерции электропривода, кг·м²;

i – передаточное число редуктора;

r – радиус блока, м;

C_M – коэффициент передачи двигателя по моменту;

$k_{yc}, k_{дв}, k_{дс}$ – коэффициенты передач соответственно усиления, двигателя, датчика сопротивления;

U_3 – приращение напряжения на входе двигателя, В;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление цепи якоря двигателя, Ом;

$I_{\text{я}}$ – приращение тока в цепи якоря двигателя, А;

$W_{\text{рег}}$ – передаточная функция ПИ-регулятора.

На основании дифференциальных уравнений составлена структурная схема системы управления ШП (рисунок 3).

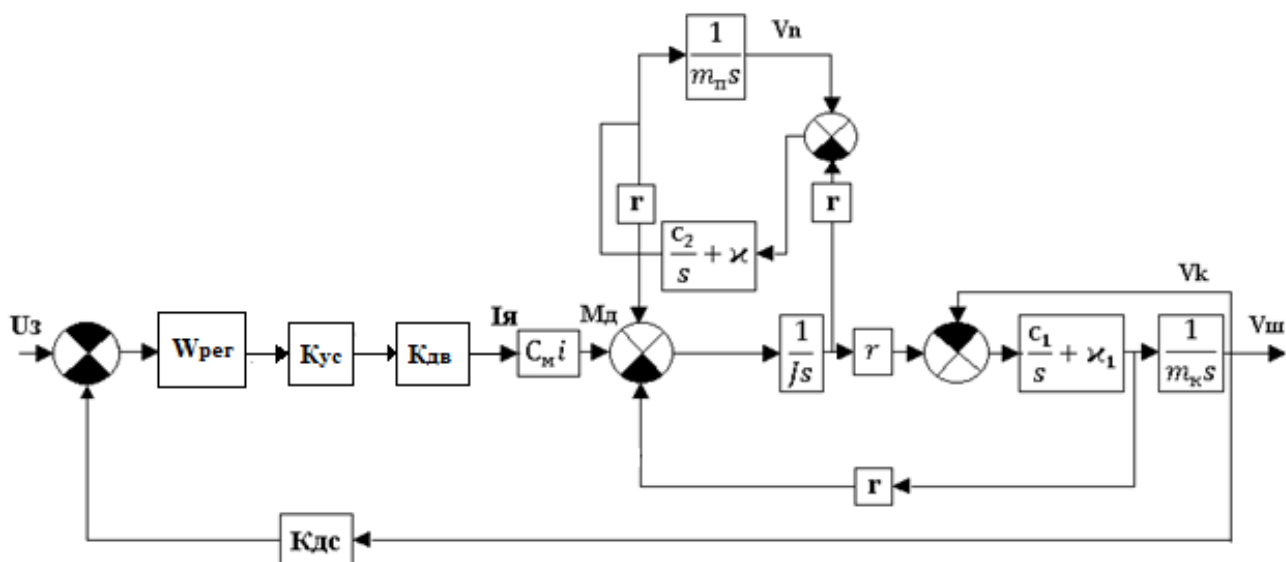


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления ШП с невесомым тросом

В данной системе интервальными являются параметры: $m_{\text{к}}$ - масса кабины; c_1 , c_2 - коэффициенты жесткости соответственно первого и второго участков троса; κ_1 , κ_2 - коэффициенты внутреннего демпфирования соответственно первого и второго участков троса. Ниже приведены численные значения параметров системы управления ШП (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Численные значения параметров системы управления ШП

$k_{\text{ус}}$	τ , с	$R_{\text{я}}$, Ом	$C_{\text{м}}$	r , м	i	β	$c_{\text{уд}}$, Н	$\kappa_{\text{уд}}$, Н · с	$m_{\text{н}}$, кг	J , кг · м ²	$k_{\text{дс}}$
30	1,33	0,83	0,85	0,5	100	1,5	$19,2 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	2000	10	2

По схеме на рисунке 3 определим передаточную функцию замкнутой системы управления ШП [9]:

$$W_{oy}(s) = \frac{[b_4]s^4 + [b_3]s^3 + [b_2]s^2 + [b_1]s + [b_0]}{[a_6]s^6 + [a_5]s^5 + [a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0]}, \quad (1.10)$$

где $[b_0] = i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[c_1][c_2]$;

$[b_1] =$

$= i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[c_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_2][c_1 + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1]][c_2]$;

$[b_2] = i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[c_1]m_{\pi} + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_2][c_1] +$

$+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1][\chi_2]$;

$[b_3] =$

$= i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[c_1]m_{\pi} + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1]m_{\pi} + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1][\chi_2]$;

$[b_4] = i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дв}[\chi_1]m_{\pi}$.

Из выражения (1.10) можно записать ИХП:

$[a_0] = i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[c_1][c_2]$;

$[a_1] = i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[c_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[\chi_2][c_1] +$
 $+ i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[\chi_1][c_2]$;

$[a_2] = J[c_1][c_2] + [m_{\kappa}][c_1][c_2]r^2 + m_{\pi}[c_1][c_2]r^2 + i[k_0]k_{yc}C_Mrm_{\pi}k_{дс}k_{дв}[c_1] +$
 $+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[c_1][\chi_2] + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[\chi_1][c_2] +$
 $+ i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[\chi_1][\chi_2]$;

$[a_3] = J[c_1][\chi_2] + J[c_2][\chi_1] + [m_{\kappa}][\chi_2]r^2[c_1] + [m_{\kappa}][\chi_1]r^2[c_2] + m_{\pi}[\chi_2]r^2[c_1] +$
 $+ m_{\pi}[\chi_1]r^2[c_2] + i[k_1]k_{yc}C_Mrm_{\pi}k_{дс}k_{дв}[c_1] + i[k_0]k_{yc}C_Mrm_{\pi}k_{дс}k_{дв}[\chi_1] +$
 $+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дс}k_{дв}[\chi_1][\chi_2]$;

$[a_4] = J[m_{\kappa}][c_2] + Jm_{\pi}[c_1] + J[\chi_1][\chi_2] + [m_{\kappa}]m_{\pi}r^2[c_1] + [m_{\kappa}]m_{\pi}r^2[c_2] +$
 $+ [m_{\kappa}][\chi_1][\chi_2]r^2 + m_{\pi}[\chi_1][\chi_2]r^2 + i[k_1]k_{yc}C_Mrm_{\pi}k_{дс}k_{дв}[\chi_1]$;

$[a_5] = J[m_{\kappa}][\chi_2] + Jm_{\pi}[\chi_1] + [m_{\kappa}]m_{\pi}r^2[\chi_1] + [m_{\kappa}]m_{\pi}r^2[\chi_2]$;

$[a_6] = J[m_{\kappa}]m_{\pi}$;

1.2 Модель объекта управления шахтным подъемником с тяжелым тросом

Решим задачу математического описания упругого тяжелого (весомого) вертикально расположенного троса большой длины в виде линейного динамического звена [10].

При закрепленном верхнем конце троса усилие натяжения троса регулируется за счет силы, приложенной одному из концов. В рассматриваемой задаче (рисунок 4) гибкий однородный вертикально расположенный трос длиной l находится под воздействием двух растягивающих сил, приложенных к верхнему (ΔF^B) и нижнему (ΔF^H) концам троса. В установившемся состоянии (в статике) очевидно, что в верхней точке троса сила ΔF^B равна сумме силы ΔF^H , и веса троса m_T .

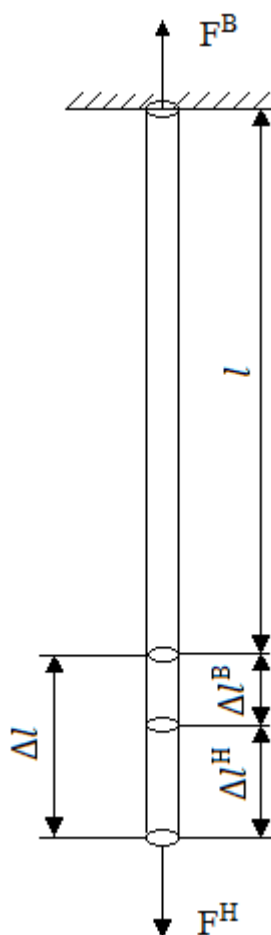


Рисунок 4 – Однородный вертикально расположенный трос

Таким образом, для вертикального однородного гибкого троса с известным весом m_T статические усилия натяжения в любой точке однозначно зависят от ее расстояния от конца троса и величины силы натяжения ΔF^H в нижней точке.

Используем теорию колебательных систем с распределенными параметрами, на основе которой можно получить передаточные функции, которые описывают законы передачи приращения силы натяжения троса с одного его конца на другой [11]. Введем следующие обозначения:

F^B – приращение силы натяжения верхнего конца троса,

F^H – приращение силы натяжения нижнего конца троса,

Δl^H – удлинение нижнего конца троса,

Δl^B – удлинение верхнего конца троса,

m_T – масса троса.

Передаточная функция между удлинением троса на одном конце и приращением сил натяжения на нем, согласно теории имеет вид [6]:

$$W_l(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = \frac{C_{уд} \sqrt{b} \cdot ch(l\sqrt{b})}{sh(l\sqrt{b})} \quad (1.11)$$

где $b = \frac{s}{a^2} (s + 2h)$, $2h = \frac{\chi_{уд}}{m_T}$, $a^2 = \frac{C_{уд}}{m_T}$, $C_{уд}$, $\chi_{уд}$ – соответственно удельное значение жесткости и внутреннего демпфирования троса. Обратим внимание, что когда появляется приращения силы натяжения на одном конце троса оно может передаваться на второй конец в согласно передаточной функции:

$$W^F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{1}{ch(\sqrt{lb})} \quad (1.12)$$

При разложении в степенные ряды гиперболические функции в выражениях (1.11) и (1.12) и рассматривать только двух первых членов $ch\sqrt{l^2 b} = 1 + \frac{bl^2}{2}$, $sh(\sqrt{l^2 b}) = \sqrt{l^2 b}(1 + \frac{bl^2}{6})$, то передаточные функции (1.11) и (1.12) примут соответственно вид:

$$W_l(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = 3C_{удT} \frac{l^2 m_T s^2 + \chi_{уд} l^2 s + 2C_{уд}}{l^3 m_T s^2 + \chi_{уд} l^3 s + 6C_{уд} l} \quad (1.13)$$

$$W_F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{2C_{уд}}{l} \frac{m_{\tau}s^2 + \chi_{уд}l}{s + 2C_{уд}} \quad (1.14)$$

Структурная схема тяжелого троса, составленная на основе полученных передаточных функций (1.13) и (1.14), приведена на рисунке 5.

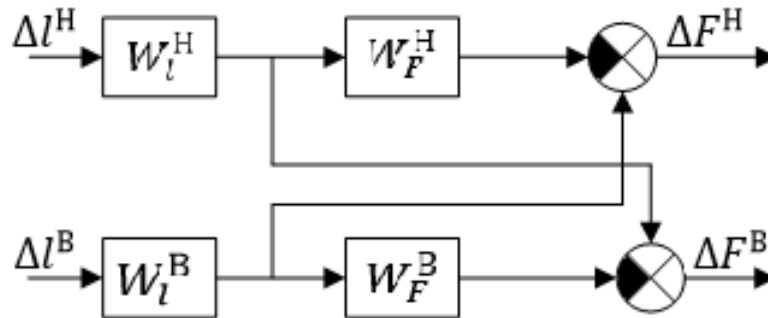
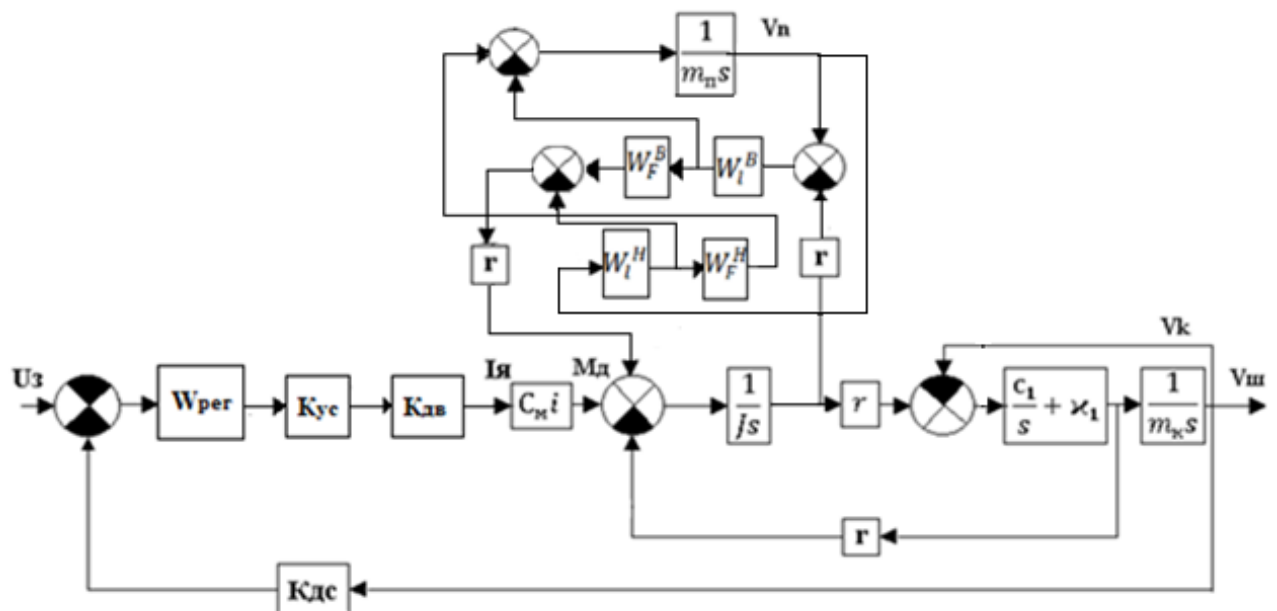
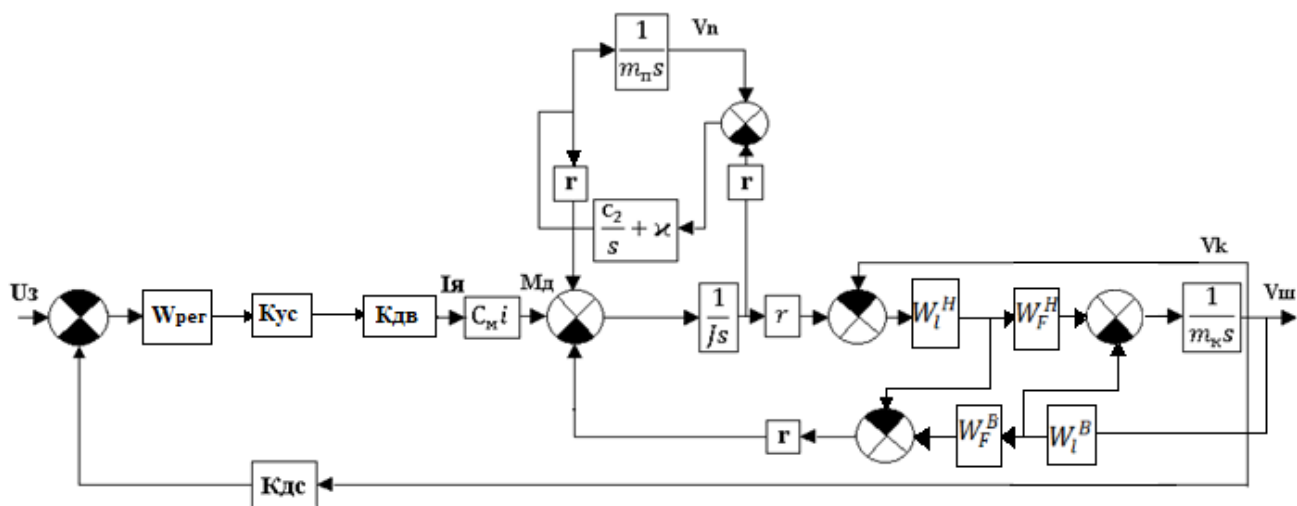


Рисунок 5 – Структурная схема тяжелого троса

Трос такого типа следует отнести к классу многосвязных элементов, так как удлинение одного его конца оказывает влияние и на прирост натяжения на этом, и на другом конце троса. Далее составим структурную схему системы управления ШП с тяжелым тросом (рисунок 6).



а)



б)

а) трос со стороны противовеса; б) трос со стороны кабины

Рисунок 6 – Структурная схема системы управления ШП с тяжелым тросом

Выводы к главе 1

В результате проведенных исследований на основании дифференциальных уравнений трехмассовой электромеханической системы составлены модели объекта управления ШП с невесомым и тяжелым тросом в форме структурных схем. На их основе определены передаточные функции СУ ШП и получен ее ИХП.

2 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником

Важной динамической характеристикой систем автоматического управления (САУ) и звеньев являются частотные характеристики (ЧХ). На основе использования этих ЧХ разработаны инженерные частотные методы исследования САУ. Достоинством частотных методов анализа и синтеза САУ является то, что ЧХ позволяют просто выявлять влияние того или иного параметра на динамические свойства системы (устойчивость, переходной процесс). При исследовании и проектировании автоматических систем обычно используют амплитудно-фазовые (АФЧХ) и логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) разомкнутых САУ [8].

2.1 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником с невесомым тросом

В ПП Matlab Simulink построена модель объекта управления ШП (рисунок 7) [12].

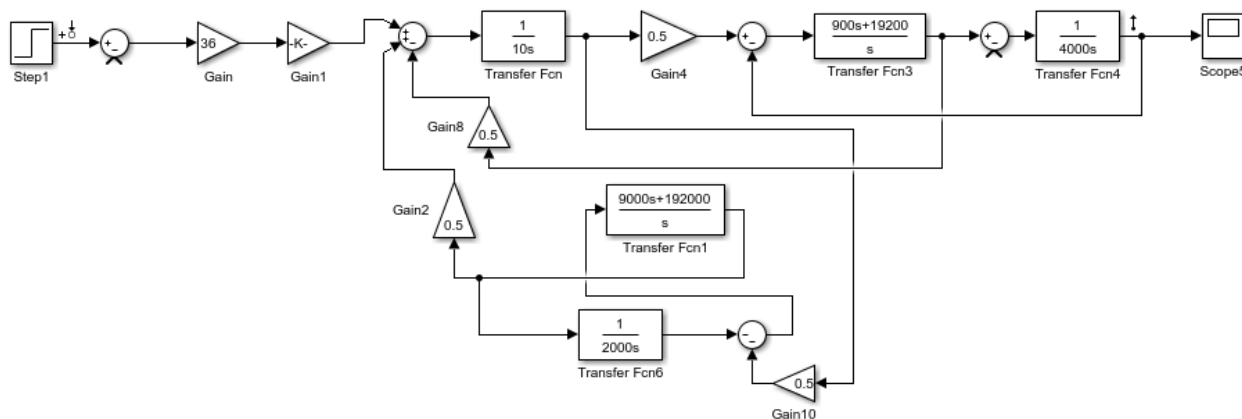


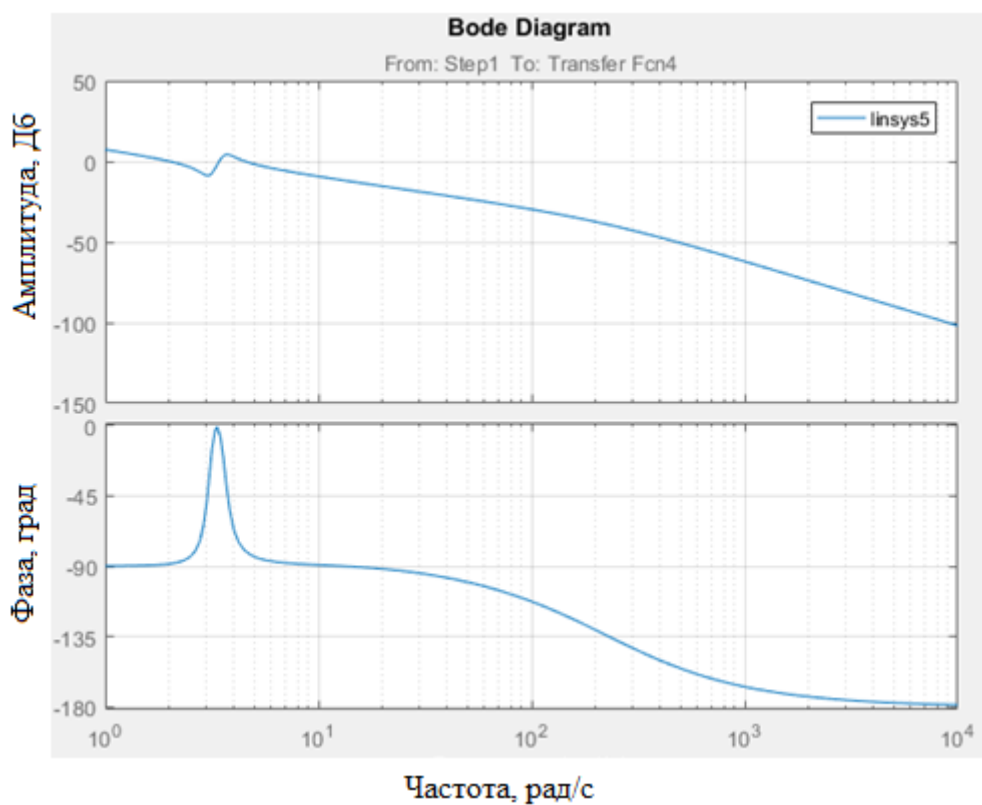
Рисунок 7 – Модель объекта управления ШП в Matlab Simulink

Для анализа динамических свойств СУ ШП построим ЧХ объекта управления ШП при различных положениях кабины подъемника и противовеса. Параметры упругих связей для этих положений приведены в таблице 2.1.

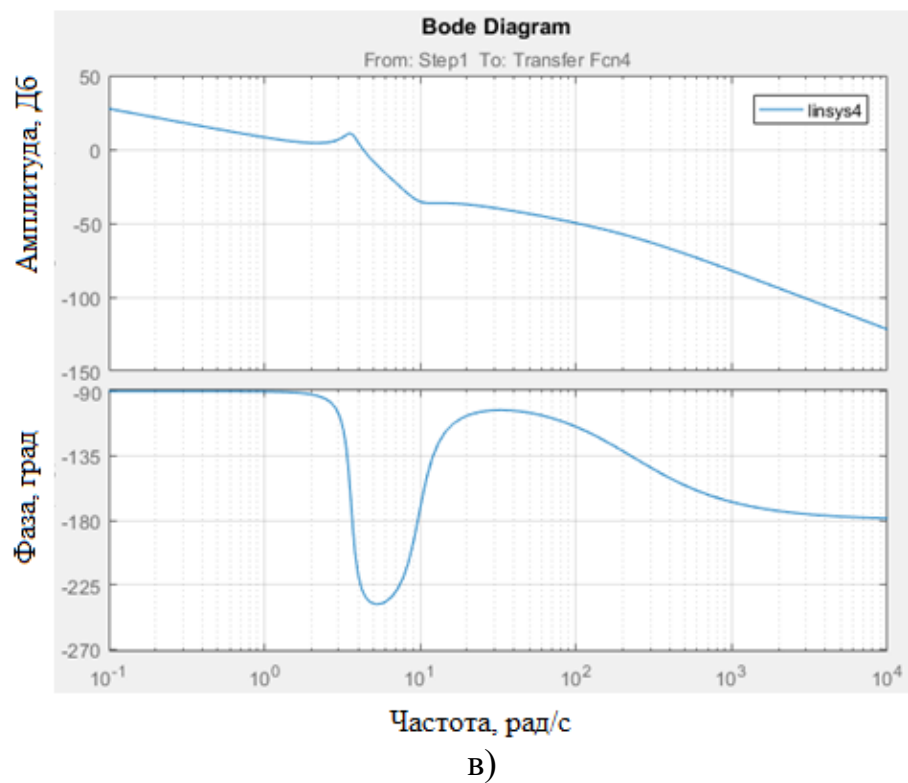
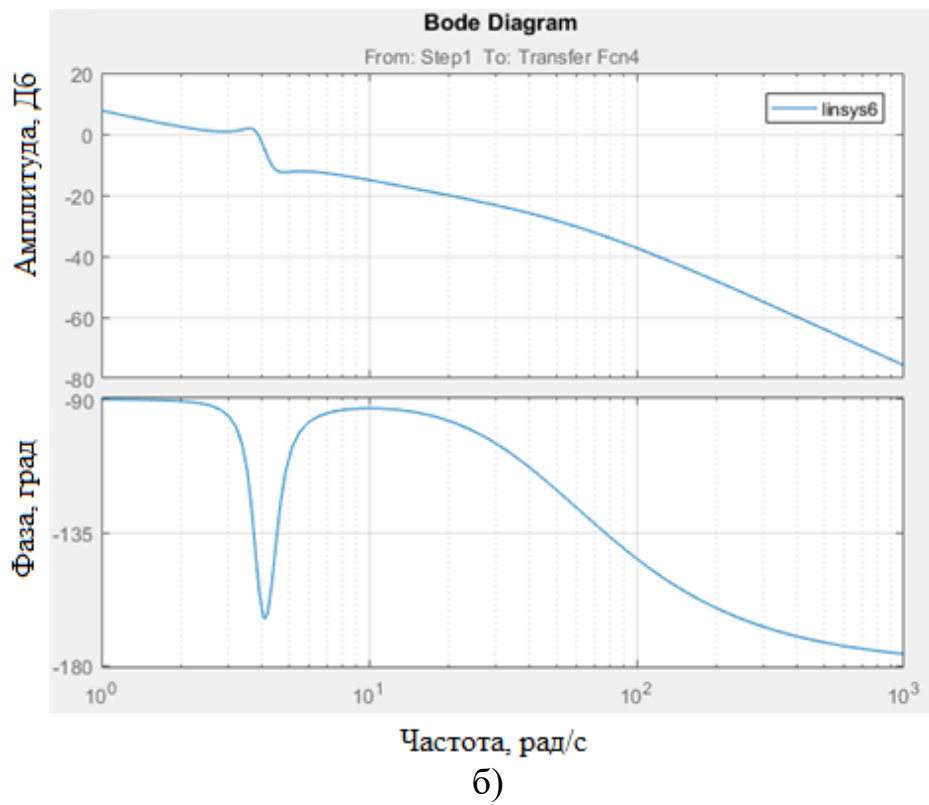
Таблица 2.1 – Параметры упругих связей

№	Положение кабины	c_1 , Н	κ_1 , Нс	c_2 , Н	κ_2 , Нс
1	$l_1 = 10$ м	192000	9000	19200	900
	$l_2 = 100$ м				
2	$l_1 = 50$ м	38400	1800	32000	1500
	$l_2 = 60$ м				
3	$l_1 = 100$ м	19200	900	192000	9000
	$l_2 = 10$ м				

Результаты построения ЧХ приведены на рисунке 8 [12], [13].



а)

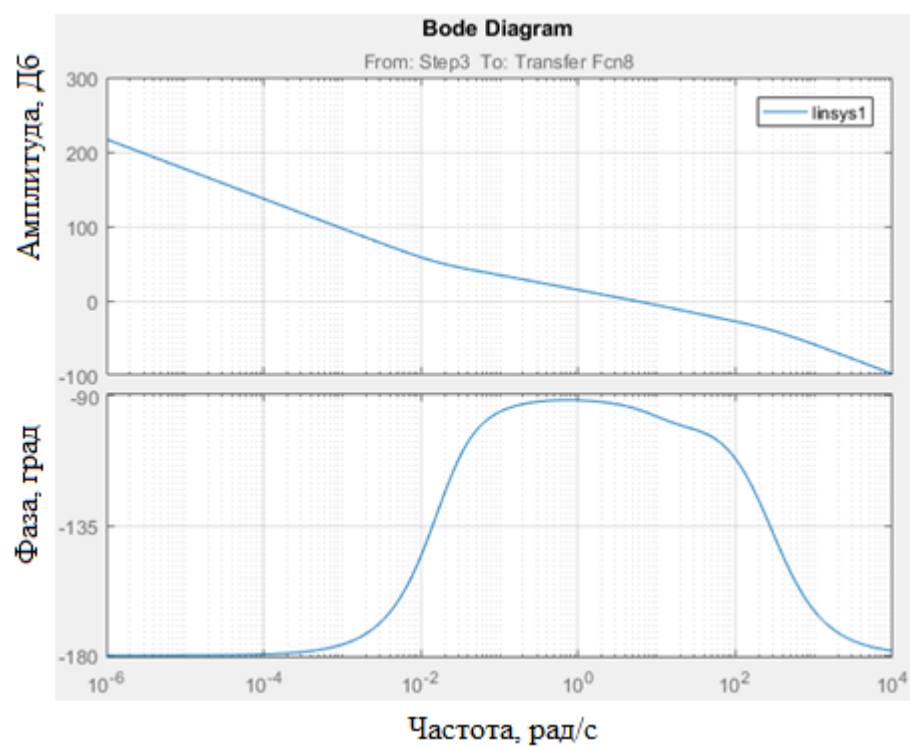


а) кабина вверх, противовес вниз на глубине 100 метров; б) кабина и противовес на одном уровне; в) кабина вниз на глубине 100 метров, противовес вверх

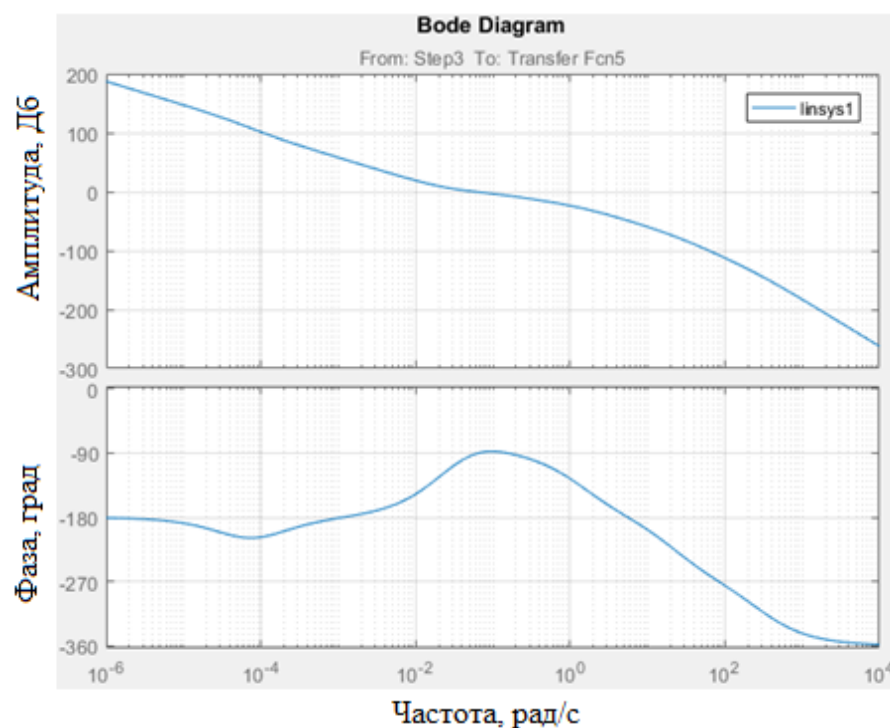
Рисунок 8 – Частотные характеристики объекта управления

2.2 Анализ частотных характеристик объекта управления шахтным подъемником с тяжелым тросом

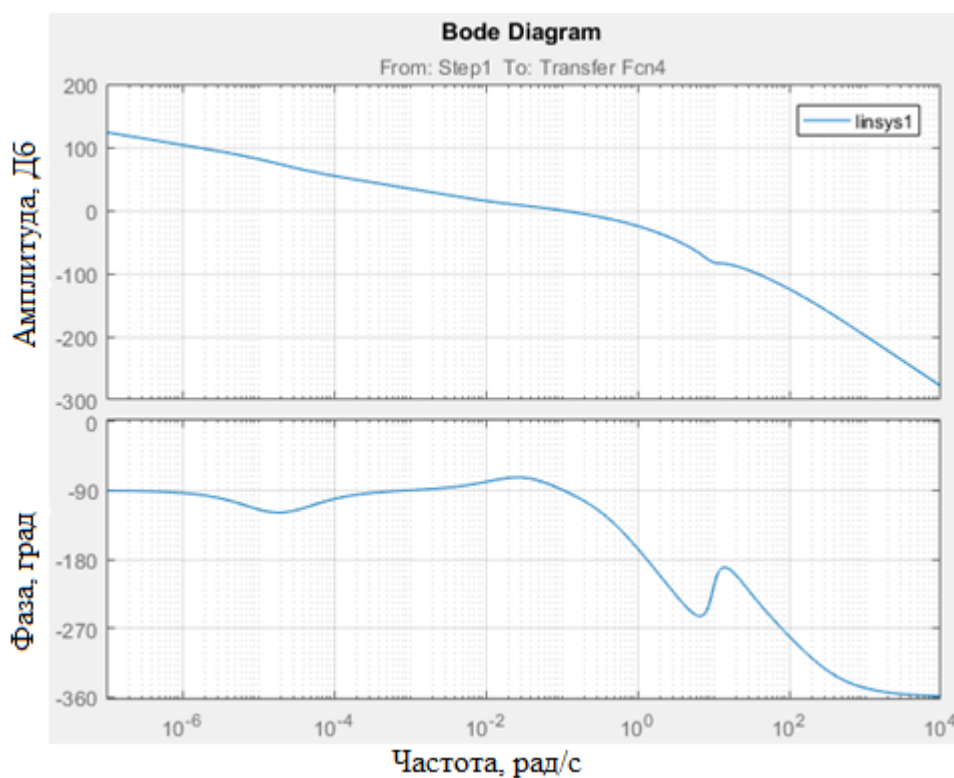
Следующим шагом будет построение ЧХ системы управления ШП с тяжелым тросом при различных его длинах. Результаты построения ЧХ приведены на рисунке 9.



а)



б)



в)

а) противовес внизу на глубине 2000 метров; б) кабина и противовес на одном уровне; в) кабина внизу на глубине 2000 метров

Рисунок 9 – Частотные характеристики объекта управления

Выводы к главе 2

В результате проведенных исследований установлено, что в системе с невесомым тросом динамические свойства ухудшаются при опускании кабины ШП. Об этом говорит провал фазовой характеристики в области резонансных частот. На глубине 100 м система может стать неустойчивой.

Проведены исследования динамических свойств СУ ШП с тяжелым тросом. Основываясь на ЧХ можно сделать вывод, что с тяжелым тросом система обладает большей устойчивостью, но меньшим быстродействием. На глубине 2000 метров при помощи тяжелого троса есть возможность сохранить устойчивость системы.

3 Построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления

При проектировании СУ принято учитывать показатели качества. В зависимости от принятых методов проектирования САУ используются различные совокупности показателей ее качества [14].

Показатели качества можно разбить на четыре группы:

- частотные, определяемые формой различных частотных характеристик системы, где характерными показателями качества выступают запасы устойчивости по фазе и амплитуде, частота среза, а также другие характерные частоты, значение резонансного пика амплитудно-частотной характеристики, добротность;

- временные, определяемые формой временных процессов (типа переходного процесса или весовой функции), где соответствующими показателями качества служат время переходного процесса или же другие характерные времена, перерегулирование, количество колебаний в переходном процессе, статическая ошибка;

- корневые, определяемые распределением нулей и полюсов передаточной функции, где работоспособность характеризуется модулями корней характеристического многочлена, их колебательностью, знаками и значениями их вещественных частей, аналогичными показателями нулей передаточной функции;

- коэффициентные, определяемые набором коэффициентов передаточной функции, с помощью которых можно выразить, например, коэффициенты ошибок, проверить устойчивость с помощью аналитических критериев устойчивости [15].

Наименьшее число этих показателей содержится в коэффициентной группе, но этот факт противоречит тому, что коэффициенты передаточной функции линейной системы или некоторые их комбинации более практично иметь в качестве показателей работоспособности системы, из за того что они наиболее просто и непосредственно связаны с физическими параметрами

системы, которые были выбраны при проектировании. Это обстоятельство одна из причин заинтересованности к коэффициентным методам оценки устойчивости и качества динамических систем.

Если есть численно заданные параметры САУ (коэффициенты усилия, постоянные времени и т. п.), тогда любой из показателей качества всех групп можно получить всегда. Очевидно что частотные характеристики одноконтурной системы можно построить непосредственно по параметрам, а с помощью вычисления коэффициентов ее передаточной функции, получить совокупность нулей и полюсов системы, временные и частотные характеристики для многоконтурных систем и т. п [16], [17].

Таким образом, задача анализа системы всегда решается, и решение является однозначной. Для решения задачи синтеза необходимо иметь обратные зависимости, которые позволяют перейти от заданных показателей качества системы к ее искомым параметрам, только за исключением простейших случаев где это очень сложно выполнить при использовании частотных или временных показателей качества. Гораздо легче решается задача при задании требований к системе в корневой области и совсем просто при задании требований к системе в коэффициентной области. Это является еще одним из соображений, стимулирующих интерес к созданию аппарата, позволяющего формулировать требования к качеству системы непосредственно в коэффициентной области.

Важным направлением развития современной теории автоматического управления является разработка методов синтеза систем в условиях детерминированной интервальной неопределенности параметров объектов управления. Системы с такими параметрами называются интервальными. Решению задач синтеза интервальных систем посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых [16]-[23]. Ими хорошо разработаны методы, связанные с использованием интервальных характеристических полиномов (ИХП), этом представляет интерес обратная задача: определение допустимых пределов изменения коэффициентов ИХП, исходя из заданных

требований к качеству системы. Зная эти пределы и зависимости коэффициентов от настроек регулятора, можно решить задачу параметрического синтеза регулятора. Для ее решения желательно иметь выражения, связывающие предъявляемые к системе требования и интервальные коэффициенты ИХП. Такие зависимости могут быть получены на основе коэффициентных методов [17], где устойчивость и колебательность системы оцениваются по показателям, выраженным через коэффициенты ИХП.

Рассмотрим вначале линейную стационарную непрерывную систему с характеристическим полиномом [14]:

$$F_n(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0, a_i > 0, \quad (3.1)$$

где n – порядок дифференциального уравнения САУ.

Введем вспомогательные параметры λ_i , образуемые четверками рядом стоящих коэффициентов полинома (3.1):

$$\lambda_i = (a_{i-1} a_{i+2}) / (a_i a_{i+1}), i = [1, n-2], \quad (3.2)$$

где λ_i – показатель устойчивости.

Для устойчивости системы с характеристическим полиномом (3.1) достаточно, чтобы выполнялись неравенства:

$$\lambda_i < \lambda^* \approx 0,465, \forall i = [1, n-2]. \quad (3.3)$$

Введем в рассмотрение второй параметр δ_i , вычисляемый по формуле:

$$\delta_i = \frac{\alpha_i^2}{\alpha_{i-1} \alpha_{i+1}}, \forall i = [1, n-1]. \quad (3.4)$$

Для получения достаточных условий расположения корней в заданном секторе, достаточно чтобы:

$$\delta_i \geq \delta_\delta(n, \varphi), \forall i = [1, n-1], \quad (3.5)$$

где δ_δ – допустимый показатель колебательности, который определяется по рисунку 10 [14].

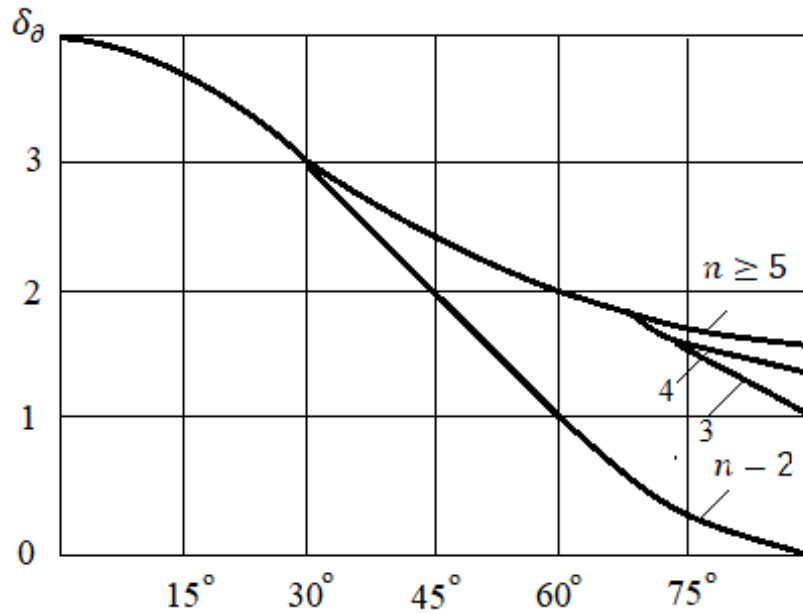


Рисунок 10 – Определение допустимого показателя колебательности

Применим интервальное расширение к коэффициентному методу. Пусть ИХП имеет вид [22]:

$$D(s) = [a_n]s^n + [a_{n-1}]s^{n-1} + [a_1]s + [a_0] \quad (3.6)$$

где $[a_i] = [\underline{a}_i, \overline{a}_i]$, \underline{a}_i - минимальное значение коэффициента a_i ;

\overline{a}_i - максимальное значение коэффициента a_i .

На основе данных интервальных показателей устойчивости $[\lambda_j]$ в [5] доказано: чтобы система с ИХП была робастно устойчива, достаточно выполнения неравенств:

$$\overline{\lambda}_i = (\overline{a_{i-1}} \overline{a_{i+2}}) / (\underline{a}_i \underline{a_{i+1}}) < \lambda^*. \quad (3.7)$$

Также доказано [14], что для расположения корней ИХП (3.1) в желаемом секторе необходимо выполнение следующих условий:

$$\underline{\delta}_i = \underline{a}_i^2 / (\overline{a_{i-1}} \overline{a_{i+1}}) \leq \delta_\partial, i = \overline{1, n-1}, \quad (3.8)$$

Предположим что характеристическом полиноме (3.6) $n \geq 3$ и известны пределы не менее двух старших коэффициентов. Необходимо определить интервалы остальных коэффициентов ИХП, при которых корни полинома локализованы в заданном секторе. В результате алгебраических

преобразований (3.7) и (3.8) получим выражения для пределов неизвестных коэффициентов ИХП

$$\overline{a_i} \leq (\lambda^* \underline{a_{i+1}} \underline{a_{i+2}}) / \overline{a_{i+3}}, i = v, v-1, \dots, 0, v = n-g, \quad (3.9)$$

$$\overline{a_i} \leq \underline{a_{i+1}}^2 / \delta_\partial \overline{a_{i+2}}, i = v, v-1, \dots, 0, v = n-g, \quad (3.10)$$

$$\underline{a_i} \leq (\lambda^* \delta_\partial \underline{a_{i+1}} \overline{a_{i+1}}) / \overline{a_{i+2}}, i = v, v-1, \dots, 0, v = n-g, \quad (3.11)$$

где g - количество коэффициентов ИХП с известными пределами.

На основании неравенств (3.9) – (3.11) составлен алгоритм (рисунок 11) определения интервалов коэффициента ИХП по известным интервалам двух старших коэффициентов ИХП.

Для синтеза линейного робастного регулятора, который обеспечивает данную секторную робастную устойчивость системы, разработана методика, содержащая следующие этапы:

1. Выбор типа регулятора и задание коэффициентов передаточной функции объекта управления.
2. Получение ИХП (3.6) и определение пределов коэффициентов $[a_i]$ не содержащих настроек регулятора.
3. Вычисление по (3.9)-(3.11) пределов коэффициентов $[a_i(\vec{k})]$, выражения которых содержат настройки регулятора.
4. Формирование системы интервальных неравенств из выражений коэффициентов $[a_i(\vec{k})]$ и найденных интервалов их значений.
5. Решение системы неравенств и определение пределов допустимых значений параметров регулятора.

Выводы к главе 3

На основе проведенных исследований составлен алгоритм определения интервалов коэффициента ИХП с желаемой секторной робастной устойчивостью. На его основе разработана методика параметрического синтеза линейного робастного регулятора для системы управления ШП.

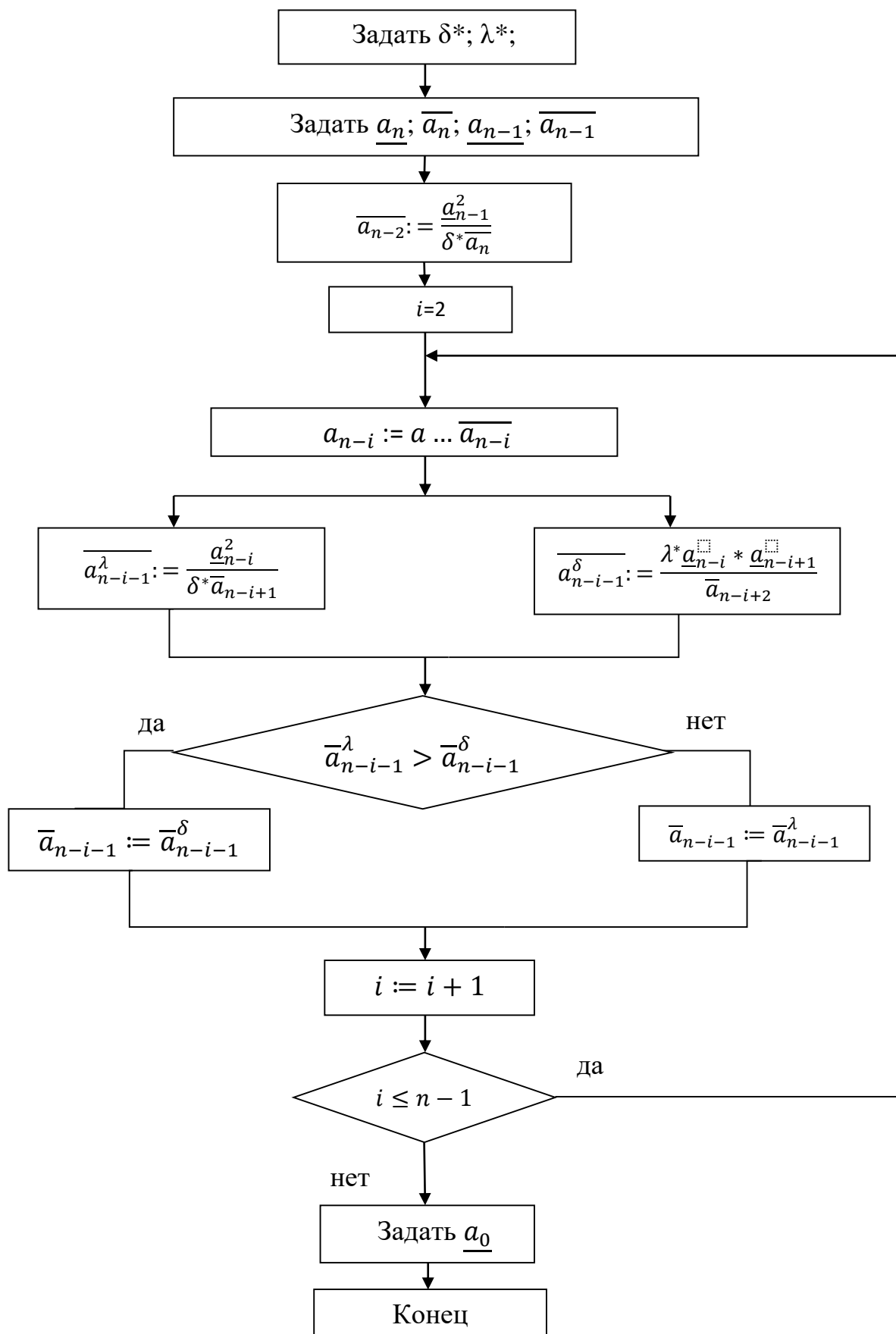


Рисунок 11 – Алгоритм определения интервалов коэффициента ИХП

4 Параметрический синтез регулятора системы управления шахтным подъемником

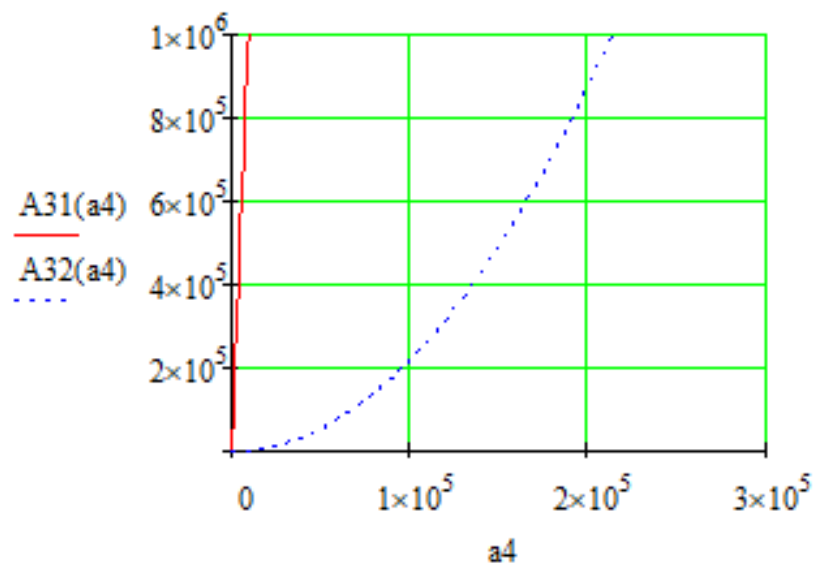
4.1 Построение желаемого интервального характеристического полинома системы управления шахтным подъемником

В соответствии с приведенной выше методикой в качестве регулятора СУ ШП выберем ПИ-регулятор с передаточной функцией (1.10). В ИХП (1.10) вычислим значения интервалов двух старших коэффициентов $[a_6] = [4 * 10^7; 8 * 10^7]$, $[a_5] = [1,836 * 10^7; 3,045 * 10^{11}]$. Основываясь на эти выражения найдем $\overline{a_4}$ по формуле (3.5):

$$\overline{a_4} := \frac{a_5^2}{\delta * \overline{a_6}} = 2,809 * 10^{12}.$$

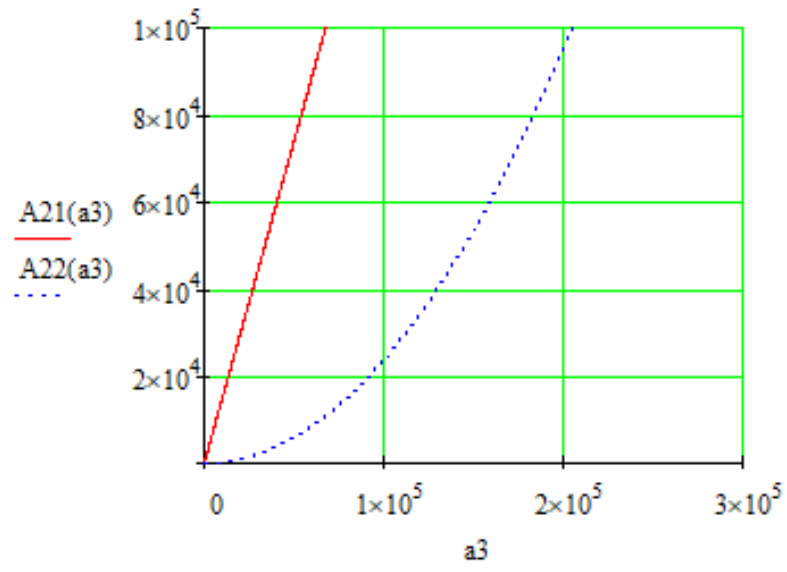
Далее с помощью Mathcad определяем остальные коэффициенты интервалов (рисунок 12) [19], [20]:

$$\overline{a_3} := \frac{a_4^2}{\delta * \overline{a_5}}; \quad \overline{a_3} := \frac{\lambda * \overline{a_4} * \overline{a_5}}{\overline{a_6}}$$



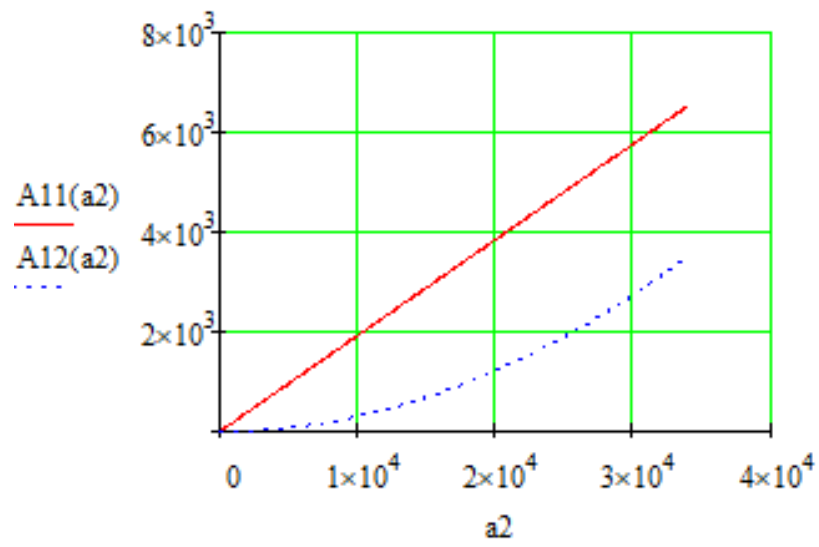
a)

$$\overline{a_2} := \frac{a_3^2}{\delta^* \overline{a_4}}; \quad \overline{a_2} := \frac{\lambda^* \overline{a_3} * \overline{a_4}}{\overline{a_5}}$$



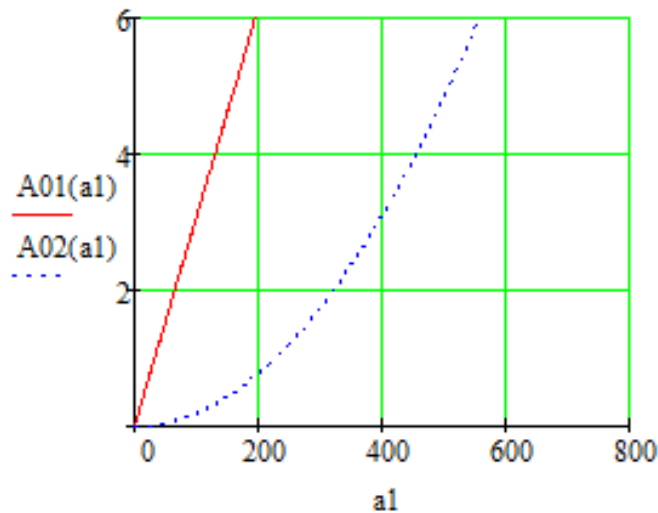
б)

$$\overline{a_2} := \frac{a_3^2}{\delta^* \overline{a_4}}; \quad \overline{a_2} := \frac{\lambda^* \overline{a_3} * \overline{a_4}}{\overline{a_5}}$$



в)

$$\overline{a_1} := \frac{a_3^2}{\delta \cdot \overline{a_4}}; \quad \overline{a_1} := \frac{\lambda \cdot \overline{a_3} \cdot \overline{a_4}}{\overline{a_5}}$$



г)

- а) нахождение $\underline{a_4}$ и $\overline{a_3}$; б) нахождение $\underline{a_3}$ и $\overline{a_2}$; в) нахождение $\underline{a_2}$ и $\overline{a_1}$;
 г) нахождение $\underline{a_1}$ и $\overline{a_0}$

Рисунок 12 – Определение коэффициентов интервала ИХП

В итоге получаем интервалы коэффициентов желаемого ИХП СУ ШП, которые приведены ниже:

$$[a_4] = [1 \cdot 10^{12}; 2,809 \cdot 10^{12}], \quad [a_3] = [1,2 \cdot 10^{12}; 2,189 \cdot 10^{12}], \quad [a_2] = [1,5 \cdot 10^{11}; 3,418 \cdot 10^{11}], \quad [a_1] = [3 \cdot 10^9; 6,85 \cdot 10^9], \quad [a_0] = [6 \cdot 10^6; 1,755 \cdot 10^7].$$

4.2 Определение настроек регулятора системы управления шахтным подъемником

На основании полученных выражения коэффициентов полинома a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 и найденных их допустимых пределов составлена система интервальных неравенств [23].

$$[a_0] = [2,654 \cdot 10^{12}; 1,843 \cdot 10^{14}][k_0];$$

$$[a_1] = [2,654 \cdot 10^{12}; 1,843 \cdot 10^{14}] \cdot [k_1] + [2,488 \cdot 10^{12}; 1,728 \cdot 10^{14}] \cdot [k_0];$$

$$[a_2] = [3,723 \cdot 10^{11}; 3,866 \cdot 10^{13}] + [2,488 \cdot 10^{12}; 1,728 \cdot 10^{14}] \cdot [k_1] +$$

$$+[8,597 * 10^{11}; 4,28 * 10^{13}] * [k_0];$$

$$[a_3] = [3,491 * 10^{11}; 3,624 * 10^{13}] + [1,296 * 10^{11}; 1,08 * 10^{12}] * [k_0] +$$

$$+[8,597 * 10^{11}; 4,28 * 10^{13}] * [k_1];$$

$$[a_4] = [1,21 * 10^{11}; 9,143 * 10^{12}] + [1,296 * 10^{11}; 1,08 * 10^{12}] * [k_1].$$

В результате решения системы найдены допустимые интервалы коэффициентов ПИ-регулятора $[k_1] = [1,008; 258,17]$, $[k_0] = [3,256 * 10^{-3}; 0,661]$, из которых выбраны $k_1 = 80$ и $k_0 = 0,03$.

Выводы к главе 4

По известным интервалам 2-х старших коэффициентов полинома получены выражения для определения интервалов остальных коэффициентов полинома. На основе найденных интервалов определены диапазоны допустимых значений параметров регулятора, обеспечивающих в системе заданную секторную устойчивость.

5 Анализ переходных процессов системы управления шахтным подъемником при различных длинах троса

5.1 Переходные процессы при невесомом тросе

Проанализируем поведение системы без учета массы троса. Модель объекта управления ШП, построенная в MatLab Simulink приведена на рисунке 13 [12].

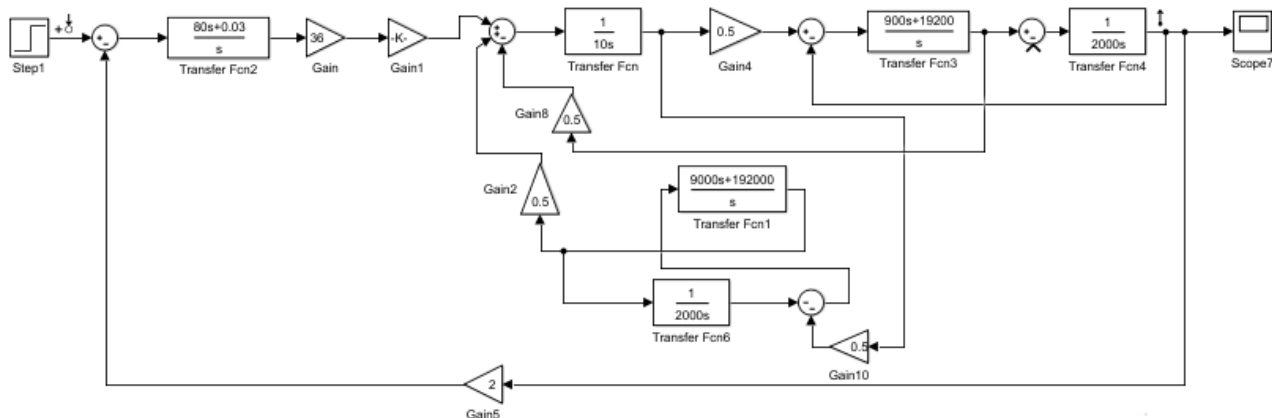


Рисунок 13 – Модель объекта управления ШП, построенная в MatLab

Пусть сигнал задатчика скорости будет иметь ступенчатый вид (рисунок 14).

U_z, B

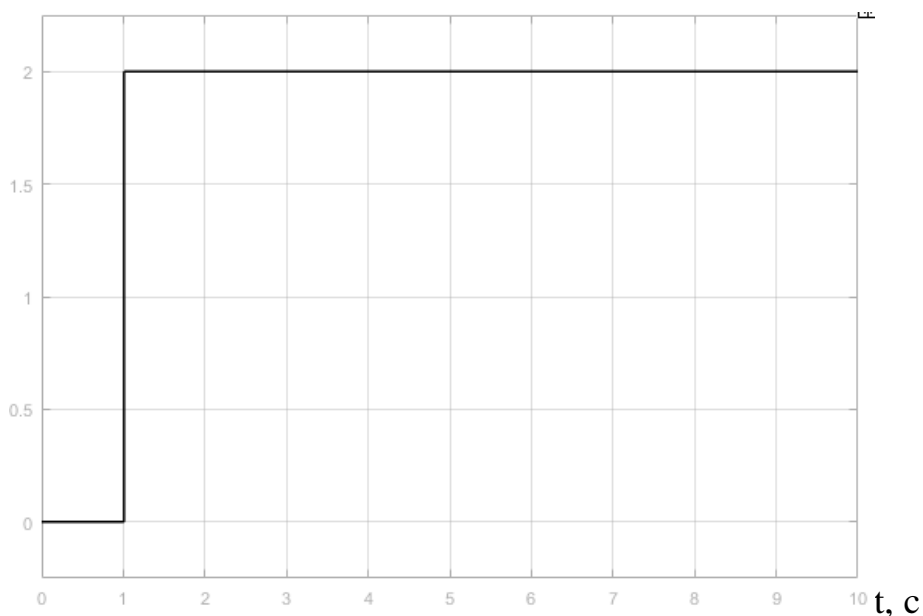
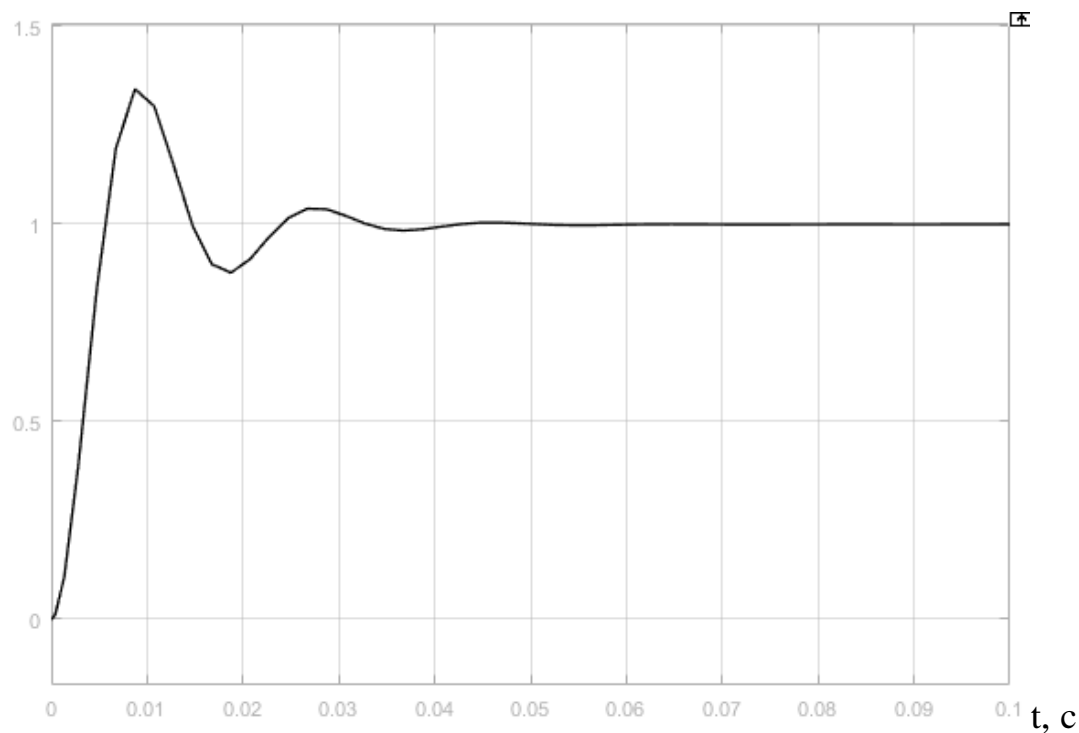


Рисунок 14 – Входной сигнал

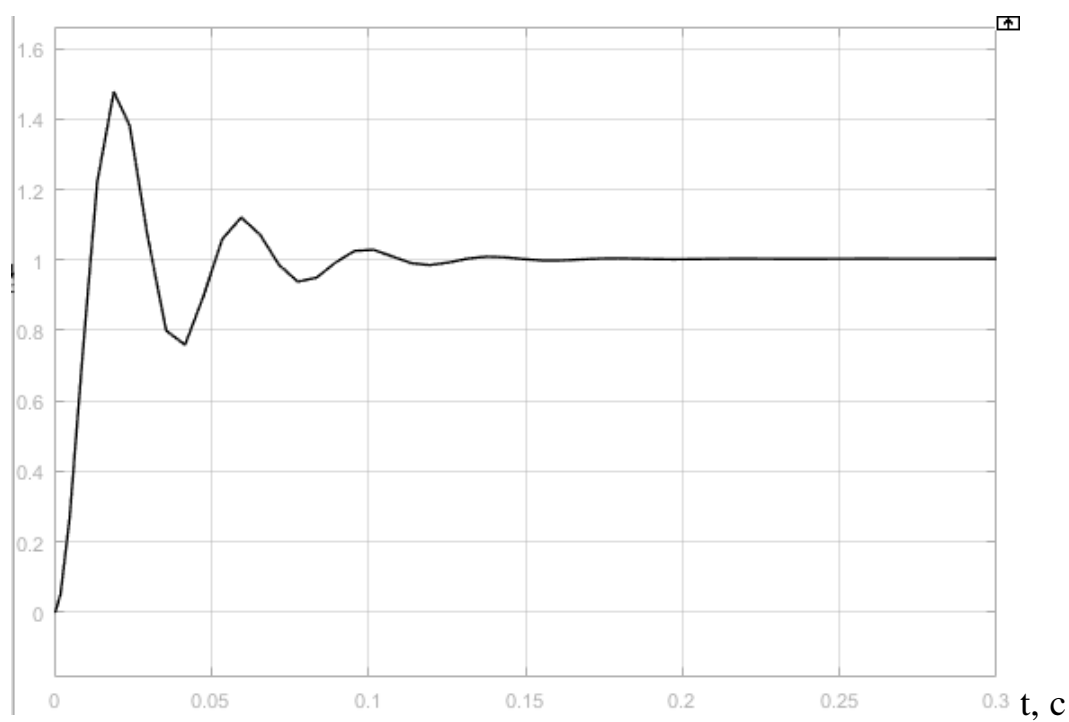
Далее построим переходные процессы СУ ШП при различных положениях кабины подъемника и противовеса. Результаты построения переходных процессов приведены на рисунке 15.

$V_k, \text{ м/с}$

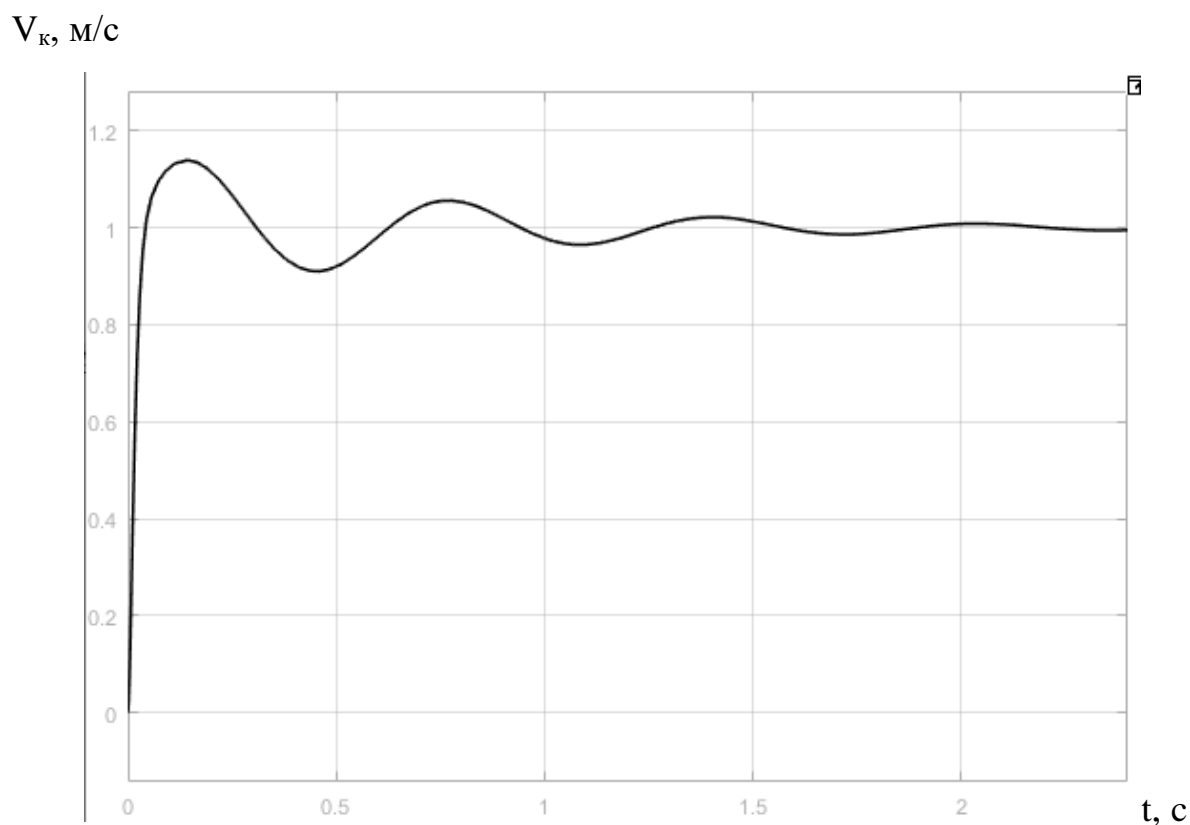


a)

$V_k, \text{ м/с}$



б)



в)

а) кабина вверх, противовес вниз на глубине 100 метров; б) кабина и противовес на одном уровне; в) кабина вниз на глубине 100 метров, противовес вверх

Рисунок 15 – Переходные процессы системы управления шахтного подъемника с невесомым тросом

5.2 Переходные процессы при тяжелом тросе

На основе структурной схемы (рисунок 5) составим модель тяжелого троса в MatLab Simulink (рисунок 16).

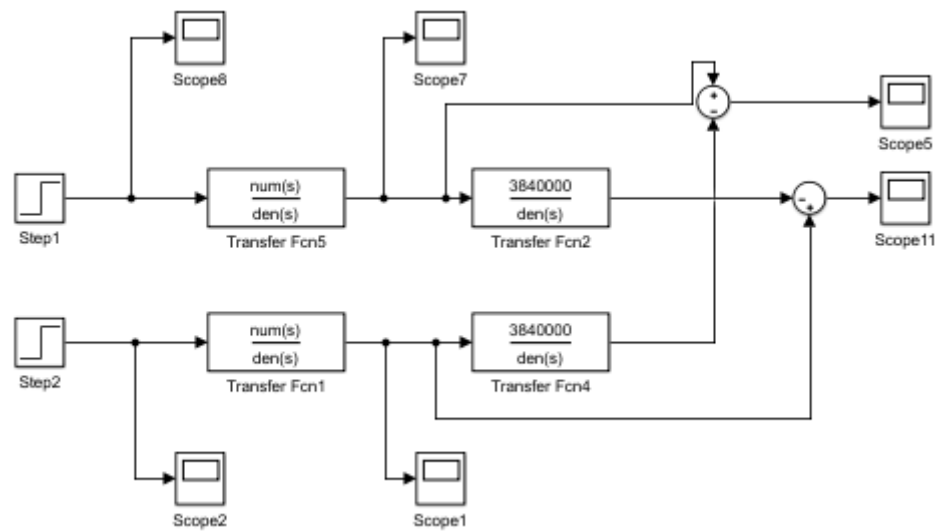


Рисунок 16 – Модель тяжелого троса в Matlab Simulink

Далее исследуем систему управления ШП с учетом массы троса при его длине 2000 м. Схема системы показана на рисунке 17.

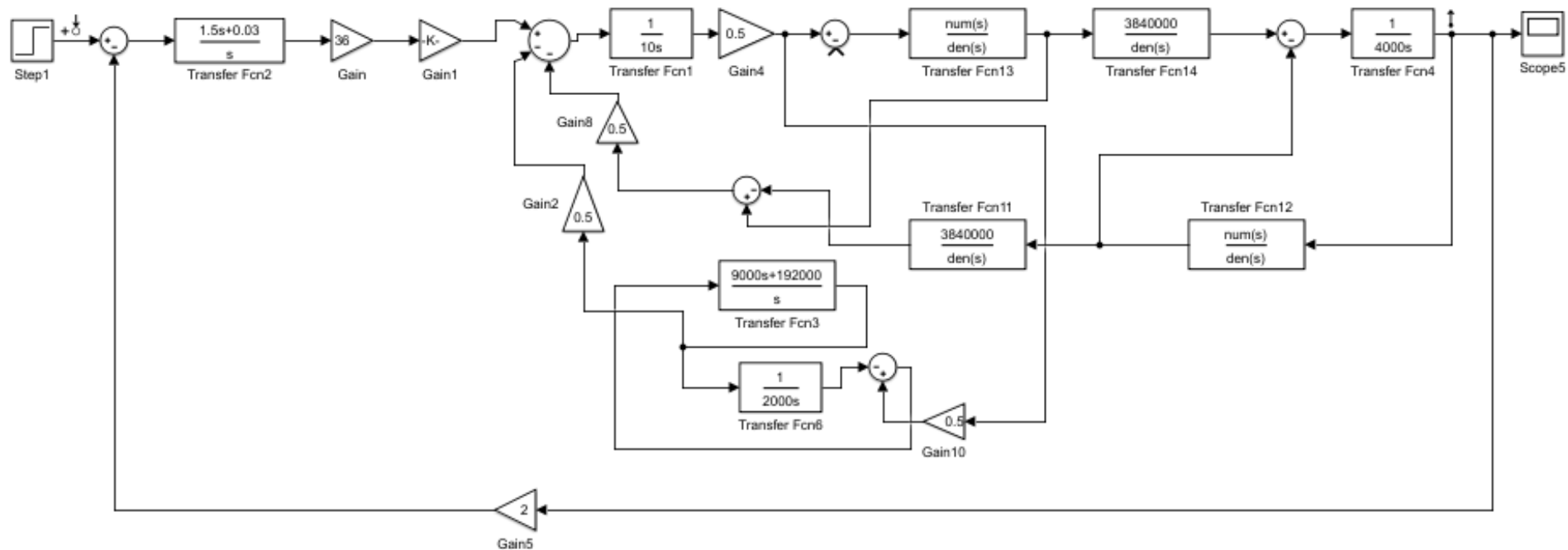
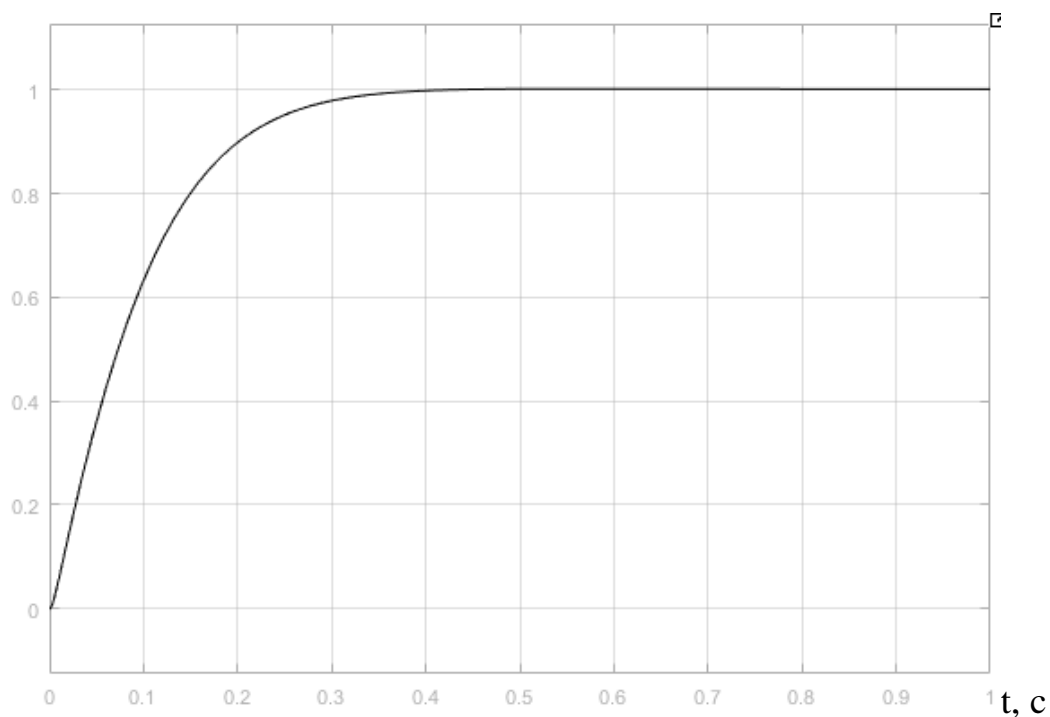


Рисунок 17 – Модель системы управления ШП с учетом массы троса

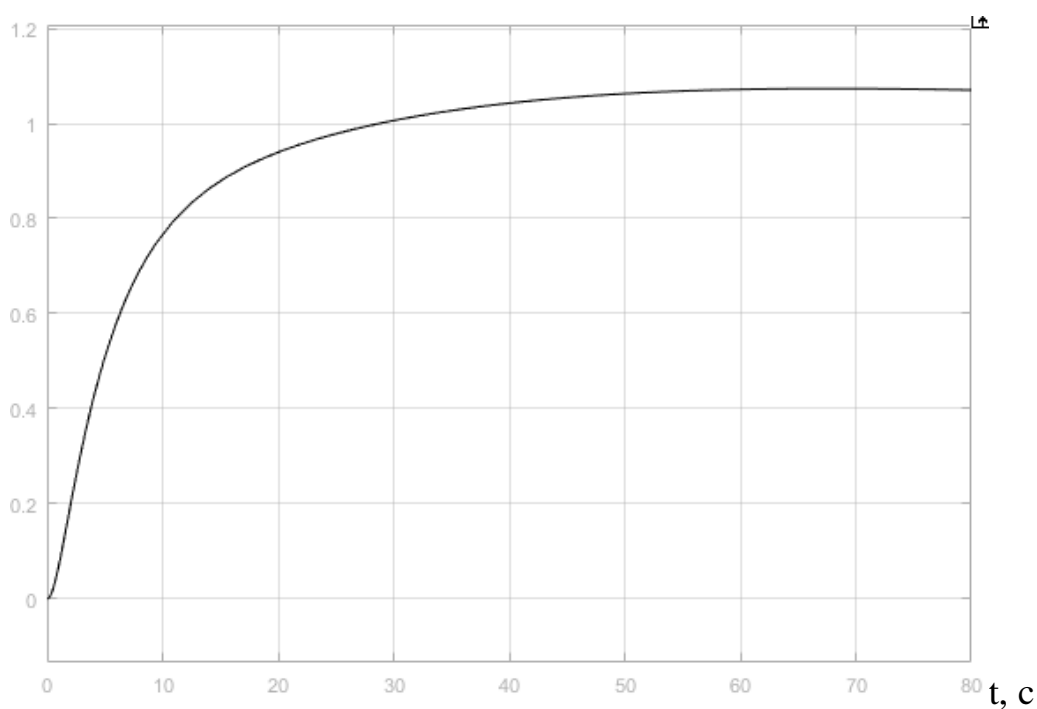
Построим переходные процессы СУ ШП в разных положениях кабины и противовеса. Рассмотрим, как влияет тяжелый трос на систему управления, пусть масса кабины имеет вид 4000 кг. Результаты моделирования показаны ниже (рисунок 18).

$V_K, \text{ м/с}$

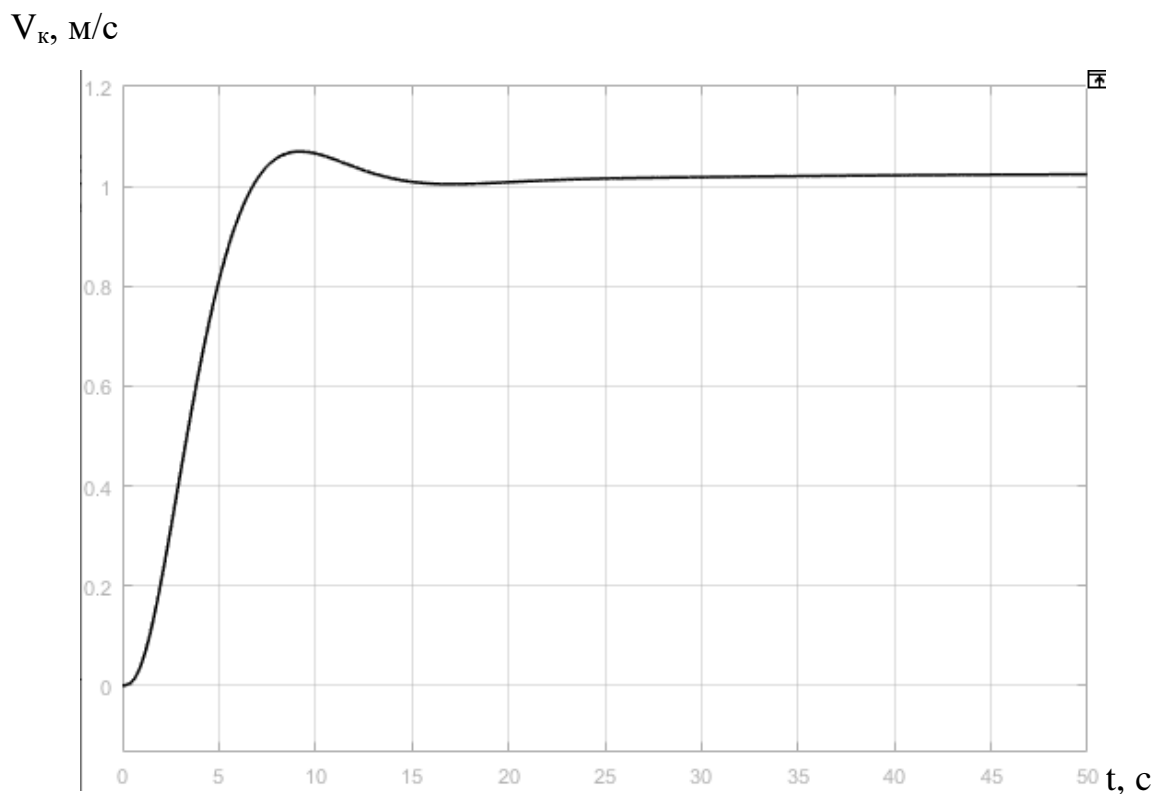


а)

$V_K, \text{ м/с}$



б)



в)

а) кабина вверх, противовес вниз на глубине 2000 метров; б) кабина и противовес на одном уровне; в) кабина вниз на глубине 2000 метров, противовес вверх

Рисунок 18 – Переходные процессы системы управления шахтного подъемника с тяжелым тросом

Выводы к главе 5

В результате проведенных исследований установлено, что в системе с невесомым тросом с помощью робастных настроек регулятора можно обеспечить желаемое качество работы ШП на глубине до 100 метров. Установлено, что при опускании кабины частота колебаний уменьшается, а время переходного процесса увеличивается, так как трос со стороны кабины становится менее жестким.

Исследование переходных процессов СУ ШП с тяжелым тросом показало, что система на больших глубинах обладает меньшим быстродействием, но при этом более устойчива.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продуктом разработки является ПО для расчета влияния длины каната на его скоростные характеристики и расчет быстродействия такой системы. Потенциальными потребителями моего исследования могут являться предприятия, в которых есть шахтные подъемы, подвесные канатные дороги, буксирные тросовые устройства, сверхдлинноволновые антенные устройства, канатные бревнотаски и другие устройства, имеющие в своей конструкции длинные упругие канаты. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям: размер компании-заказчика и вид компании.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования

Размер компании	Вид компании	
	Предприятия по добыче полезных ископаемых закрытым способом	Предприятия по погрузке и разгрузке, использующие грузо-подъемные машины (ГПМ)
крупные		
средние		
малые		



– компания по производству и продаже шахтных лифтов «SKY LIFT»



– Карачаровский Механический Завод



– частные фирмы по расчету характеристик ГПМ

На карте сегментирования незанятыми являются ниша мелких предприятий по добыче полезных ископаемых закрытым способом, а также предприятия по погрузке и разгрузке, использующие грузоподъемные машины (ГПМ) средних размеров. В соответствии с картой сегментирования, в качестве сегментов, на которые следует направить максимальные усилия и ресурсы по

разработке ПО для расчета динамических свойств длинных упругих канатов, которое поспособствует оптимизации производства на мелких предприятиях по добыче полезных ископаемых закрытым способом, а также на предприятиях средних размеров по погрузке и разгрузке, использующие грузоподъемные машины (ГПМ).

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ приведен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок), где B_{k1} – «компания по производству и продаже шахтных лифтов «SKY LIFT»», B_{k2} – «Карачаровский Механический Завод»

Критерии оценок	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценок ресурсоэффективности							
Удобство в чтении и корректировке программного кода	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Потребность в ресурсах памяти компьютера	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
Функциональное исполнение канатов	0,1	5	3	1	0,5	0,3	0,1
Качество интеллектуального интерфейса	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
Возможность использования в автономном режиме	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Цена	0,1	3	5	1	0,3	0,5	0,1

Продолжение таблицы 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок), где B_{k1} – «компания по производству и продаже шахтных лифтов «SKY LIFT»», B_{k2} – «Карачаровский Механический Завод»

Критерии оценок	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Экономические критерии оценки эффективности							
Уровень проникновения на рынок	0,1	1	3	3	0,1	0,5	0,3
Финансирование научной разработки	0,2	3	3	3	0,6	0,6	0,6
Срок выхода на рынок	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Итого	1	36	46	30	3,7	4,4	3

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что наша разработка имеет средний уровень конкурентоспособности.

Позиции конкурентов особенно уязвимы в потребности в ресурсах памяти и ценовом диапазоне. Так же в зоне уязвимости может оказаться финансирование научной разработки.

Конкурентное преимущество нашей разработки в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

6.1.3 Swot-анализ

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской работе.

Таблица 6.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).</p> <p>С2. Функциональная мощность (предоставляемые возможности).</p> <p>С3. Конкурентоспособность продукта.</p> <p>С4. Срок выхода на рынок. С5. Высоко квалифицированный научный труд.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания ПО.</p> <p>Сл4. Уровень проникновения на рынок.</p>
--	--	--

Продолжение таблицы 6.3 – SWOT-анализ

<p>Возможности:</p> <p>B1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.</p> <p>B2. Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат.</p> <p>B3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>B4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.</p> <p>B5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. Так же использование развитой международной инфраструктуры поможет ускорить выход ПО на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высоко квалифицированного научного труда.</p> <p>Благодаря снижению таможенных пошлин на платы возможно повышение конкурентоспособности ПО.</p>	<p>Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях может привести к увеличению срока поставки плат, используемых для проведения научного исследования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция производителей ПО.</p> <p>У3. Высокая стоимость оборудования и плат.</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода ПО на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей ПО может привести к снижению конкурентоспособности продукта.</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства и высокая стоимость оборудования и плат может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию потенциальных потребителей, необходимого оборудования для проведения испытания ПО, ухудшить уровень проникновения на рынок.</p>

Вторым этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого составляются интерактивные матрицы.

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	0	+	+
	B2	0	0	0	+	0
	B3	+	+	+	0	-
	B4	0	0	0	+	0
	B5	0	0	-	0	0

Продолжение таблицы 6.4 – Интерактивная матрица

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	
	B1	0	0	0	0	
	B2	0	0	0	+	
	B3	0	-	0	0	
	B4	0	0	-	+	
	B5	0	0	0	0	
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	0	0	-	-
	У2	0	0	-	0	0
	У3	0	0	0	0	0
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	
	У1	-	-	-	-	
	У2	0	0	0	0	
	У3	-	-	-	-	

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Невысокая стоимость проекта, его простота позволяют использовать практически все возможности для развития исследований. Однако, слабые стороны проекта в сочетании с внешними угрозами ставят под вопрос будущее развитие проекта. Для их минимизации необходимо повысить уровень квалификации разработчиков, а также найти альтернативные пути приобретения элементов для устройства, возможно, отечественных производителей.

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 6.5 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Среда моделирования	MatLab	VisSim	Без среды моделирования
Б. Канат	С жесткостью $2 \cdot 10^8$ и с коэффициентом демпфирования $4 \cdot 10^4$	С жесткостью $2 \cdot 10^6$ и с коэффициентом демпфирования $4 \cdot 10^2$	С жесткостью $2 \cdot 10^4$ и с коэффициентом демпфирования 40
В. Двигатель	Коэффициент передачи $k=100$	Коэффициент передачи $k=500$	Коэффициент передачи $k=1000$
Г. Регулятор	ПИ-регулятор	ПИД-регулятор	Без регулятора

Возможными комбинациями являются следующие варианты.

A1B1B1Г1 – среда моделирования MatLab, канат с жесткостью $2 \cdot 10^8$ и с коэффициентом демпфирования $4 \cdot 10^4$, двигатель с коэффициентом передачи $k=100$ и ПИ-регулятор. Существующий вариант, наиболее эффективный в точки зрения разработчика.

A1B2B2Г3 – среда моделирования MatLab, канат с жесткостью $2 \cdot 10^6$ и с коэффициентом демпфирования $4 \cdot 10^2$, двигатель с коэффициентом передачи $k=500$ и ПИ-регулятор. Система с такими параметрами является не устойчивой, вследствие чего от него пришлось отказаться.

A2B3B3Г2 – среда моделирования VisSim, канат с жесткостью $2 \cdot 10^4$ и с коэффициентом демпфирования 40, двигатель с коэффициентом передачи $k=1000$ и ПИД-регулятор. Система с такими параметрами более быстродействующая, но параметры каната не удовлетворяют требованиям заказчиков.

6.3 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ

своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100 %
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80 % И – 80 %
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100 % И – 100 %
Изучение предметной области	И	И – 100 %
Анализ динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов		
Расчет модели, приведение полученных результатов	НР, И	НР – 30 % И – 100 %
Экономическое обоснование		
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	И – 100 %
Анализ опасных и вредных производственных факторов		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	И	И – 100 %
Оформление полученных методик	И	И – 100 %
Документирование		
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 100 % И – 100 %
Оформление графического материала	И	И – 100 %
Подведение итогов	НР, И	НР – 100 % И – 100 %

6.3.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости i -ой работы тож i применяется вероятностный метод – метод двух оценок $t_{\min i}$ и $t_{\max i}$.

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (6.1)$$

где $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел/дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 6 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{\text{рд}} = t_{\text{ож}i} \cdot K_{\text{д}}, \quad (6.2)$$

где $t_{\text{ож}}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{\text{д}} = 1, 2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (6.3)$$

где $T_{\text{рд}}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{\text{кд}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{к}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (6.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни.

$$T_K = \frac{365}{365 - 66} = 1,22$$

В таблице 6 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 6.7 – Трудозатраты на выполнение

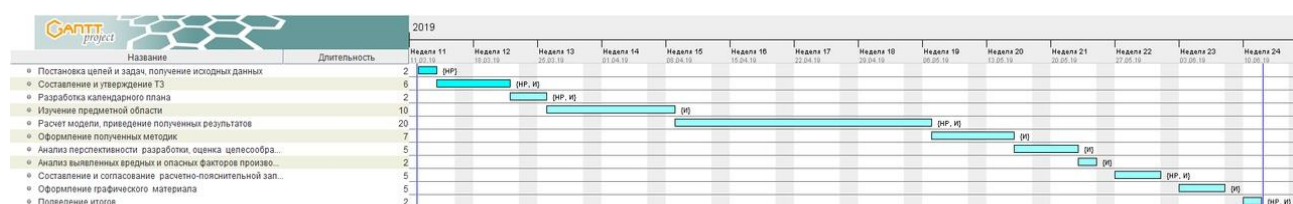
Этапы работ	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн			
					ТРД		ТКД	
		$t_{min\ i}$	$t_{max\ i}$	$t_{ож\ i}$	НР	И	НР	И
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1	2	-	2	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	6	4	3	6	3	7
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1	2	2	2	2
Изучение предметной области	И	7	10	8	-	10	-	12
Анализ динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов								
Расчет модели, приведение полученных результатов	НР, И	14	20	16	1	20	2	24
Оформление полученных методик	И	5	7	6	-	7	-	8
Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	3	5	4	-	5	-	5

Продолжение таблицы 6.7 – Трудозатраты на выполнение

Анализ опасных и вредных производственных факторов								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	И	1	2	1	-	2	-	2
Документирование								
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	3	5	4	-	5	-	5
Оформление графического материала	И	3	5	4	-	5	-	5
Подведение итогов	НР, И	1	2	1	2	2	2	2
Всего:				50	10	64	11	72

На основе таблицы 6.7 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 6.7 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 6.8 – Календарный план-график проведения НИОКР



6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;
- прочие расходы.

6.4.1 Расчет затрат на ПО

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов

определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Затраты на ПО

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Компьютер	57 000	1 шт.	57 000
Итого			57 000

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии. Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB}}{F_d} \cdot t_{рф} \cdot n \quad (6.5)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 25 \%$;

C_{OB} – цена оборудования, $C_{OB} = 57\,000$ руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_d = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{рф} = 317$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 57000}{2384} \cdot 317 \cdot 1 = 1895$$

6.4.2 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$C\Gamma_i = \frac{MO}{24,83}, \quad (6.6)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 6.10. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 6.9. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы КПР = 1,1; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Таблица 6.10 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	9	14 327
И	14 584,32	607,68	61	37 068
Итого				51 395

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили:

$C_{\text{осн}} = 51\,395$ руб.

6.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} * C_{\text{осн}}, \quad (6.7)$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 6.11 – Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнитель	Отчисления на дополнительную заработную плату, руб.
НР	2149
И	5560

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внед} = K_{внед} * (C_{осн} + C_{доп}), \quad (6.8)$$

где $K_{внед}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 6.12 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	14 327	2 149
И	37 068	5 560
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$K_{внед} = 27,1 \%$	
Итого:	16 017	

$$C_{внед} = 16\,017 \text{ руб.}$$

6.4.5 Прочие расходы

В статье «Накладные расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Таблица 6.13 – Накладные расходы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блокнот	40	2 шт.	80
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	10	4 шт.	40
Карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
Электроэнергия	5,8 руб кВт*ч	120 кВт*ч	696
Покупка лицензии Matlab (1 исполнение)	98 981	1 шт	98 981
Покупка лицензии VisSim (3 исполнение)	130 504	1 шт	130 504

Продолжение таблицы 6.13 – Накладные расходы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма,руб.
Итого:		1 исполнение	100 127
		3 исполнение	1310

6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	57 000
Амортизация	1895
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	51 395
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7 709
Отчисления во внебюджетные фонды	16 017
Накладные расходы (1 исполнения)	100 127
Накладные расходы (3 исполнение)	131 200
Бюджет затрат НТИ (1 исполнение)	230 353
Бюджет затрат НТИ (2 исполнение)	31 073
Бюджет затрат НТИ (3 исполнение)	2616

6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по

всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.9)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (6.10)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 6.15.

Таблица 6.15 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$, о. е.
1е исполнение	261 426	230 353	0,88
2е исполнение		31 073	0,11
3е исполнение		261 426	1

Второй вариант имеет наименьший интегральный показатель среди трёх

конкурентных технических решений, но в то же время имеет недостаточную функциональность.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 6.16.

Таблица 6.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исслед. Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Уровень новизны	0,3	5	5	5
2. Теоретический уровень	0,3	5	3	3
3. Возможность реализации	0,4	5	3	3
ИТОГО	1	5	3,6	3,6

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 = 5;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,4 = 3,6;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 = 3,6.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (6.10)$$

Таблица 6.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,6	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	5	3,6	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,39	1	1

Таким образом, исполнение №1 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнениями №2 и №3. Все 3 исполнения с финансовой точки зрения одинаково эффективны.

7 Социальная ответственность

Объектом исследования является моделирование системы. При анализе динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих тросов, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора, работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером. В связи с этим в данном разделе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при моделировании грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих тросов [24].

7.1 Производственная безопасность

7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [25], можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 7.1. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	– нарушение параметров микроклимата – повышение шума – недостаточное освещение – электромагнитные излучения	опасность поражения электрическим током	1. СанПиН 2.2.4.548–96 [26] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [27] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.134003 [28] 4. СНиП 23-05-95 [29] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [30] 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [31]

7.1.2 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [28] работа инженера-программиста относится к категории легких работ (А1). Категория А1 относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальный микроклимат на рабочем месте обеспечивает ощущение теплового комфорта в течение работы при минимальном напряжении механизмов терморегуляции человека, не вызывает отклонений состояния здоровья, обеспечивает условия для высокого уровня работоспособности и является предпочтительным на рабочем месте.

Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться следующие требования:

Таблица 7.2 - Допустимые значения показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548–96

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели. Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

7.1.3 Шум

При работе с ПК возникают акустические поля. Воздействие шума может привести к ухудшению слуха. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте кроме того приводит к снижению внимания персонала, замедлению скорости психических реакций [32]. Источниками шумов могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создается за счет использования занавесок из плотной ткани. Также уровень шума может быть снижен путем очистки или замены системы охлаждения персонального компьютера.

ПДУ шума для объектов типа поста управления нормируются ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 7.3. (для постоянных шумов):

Таблица 7.3 – Уровни звукового давления в октивных полосах со среднегеометрическими частотами

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ПУ	83	74	68	63	60	78	55	54	65

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка).

7.1.4 Недостаточная освещенность

Важнейшим физическим фактором является освещенность производственного помещения в целом и рабочего места конкретно. С этой целью производят нормирование производственного освещения, поскольку такие показатели как: яркость дисплея экрана, частота обновления изображения, общая освещенность в рабочей зоне оказывают сильнейшее влияние на зрение работника.

Работа, выполняемая с использованием ПК, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения (0,3 - 0,5) мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения (0,5 - 1,0) мм) КЕО должен быть не ниже 1,0 %. Для общего освещения помещений

следует использовать лампы со световой отдачей не менее 55 лм/Вт. Для освещения помещений, оборудованных персональными компьютерами, следует применять систему общего освещения. Также допускается применение комбинированного освещения с целью дополнительного освещения бумажного носителя при исключении засветки от экрана монитора.

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, по ГОСТ Р 55710-2013, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 лк и 300 лк соответственно.

7.1.4.1 Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является выполнение общего равномерного освещения помещения. Размеры помещения 15х8х4 м, высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_M * S * Z * K_{\Sigma}}{N * \eta}, \quad (7.1)$$

Коэффициент отражения стен $R_c = 50$ %, потолка $R_n = 70$ %. Коэффициент запаса $k = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$. Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$. Приняв $h_c = 0,5$ м; получаем $h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7$ м;

$$L = 1,4 * 2,7 = 3,78 \text{ м}; \quad L/3 = 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

Находим индекс помещения:

$$i = 120 / [2,7 * (15 + 8)] = 1,93$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,61$.

$$\Phi = \frac{300 * 120 * 1,8 * 1,1}{48 * 0,61} = 2434,43 \text{ Лм.}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq (\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}) / \Phi_{\text{ст}} 100 \% \leq 20 \%$$

$$-10 \% \leq (2850 - 2434,43) / 2850 * 100 \% \leq 20 \%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки
 $P = 48 * 40 = 1920 \text{ Вт}$

7.1.5 Электромагнитные излучения

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы [24].

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем. Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК представлены в таблице 7.4 [34]:

Таблица 7.4 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения		Допустимые значения
Статическое поле		20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м

Продолжение таблицы 7.4 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения		Допустимые значения
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг		0,25 А/м
Магнитная индукция не более	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более		500 В

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может привести к дыхательной, нервной и сердечнососудистой систем, головным болям, утомляемости. Для обеспечения меньшего уровня электромагнитного излучения использован жидкокристаллический монитор. Необходимо чтобы компьютер был заземлен, а так же необходимо по возможности сокращать время работы за компьютером.

7.1.6 Электробезопасность

Электрический ток относится к категории опасных факторов. В помещении, где производится разработка устройства, присутствует большое количество аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц, в том числе персональный компьютер за которым происходит наладка программного обеспечения. Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [31] и ПУЭ, по опасности электропоражения данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного от земли человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током (ГОСТ ИЕС 61140-2012) относятся:

- изоляция токопроводящих частей;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация и блокировки.

Также рекомендуется проведение ряда организационных мероприятий (специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т. д.).

7.1.7 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных

процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

7.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Работа за компьютером относится к V зрительному разряду (работа малой точности). Следовательно, требуемая освещенность помещения может быть обеспечена следующими типами ламп:

- люминесцентная лампа белого свечения (ЛБ) или холодного белого свечения (ЛХБ);
- металл галогенная лампа (МГЛ);
- ртутная лампа высокого давления (ДРЛ);

На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы [33].

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [35] эквивалентный уровень звука не должен превышать 65 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;
- рациональная планировка помещения.
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

7.3 Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера и индукционного преобразователя как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, его можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для

дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы) согласно [36], [37]. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха.

Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды.

Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [38].

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией возникающей при проведении анализа динамических свойств системы автоматического регулирования скорости двигателя с интервальными параметрами является пожар.

При этом причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности

людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты [39].

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения. В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара углекислотными огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна),

вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

В качестве средств пожаротушения применяются устанавливаемые в коридорах и на лестничных площадках пожарные краны. В качестве средства первичного средства пожаротушения следует использовать огнетушители, подходящие для тушения электроустановок, в частности, порошковые огнетушители. Углекислотные огнетушители также подходят для тушения электроустановок, однако, из-за опасности испарений огнетушащего вещества не подходят для использования в замкнутом помещении. План эвакуации предоставлен на рисунке 19:

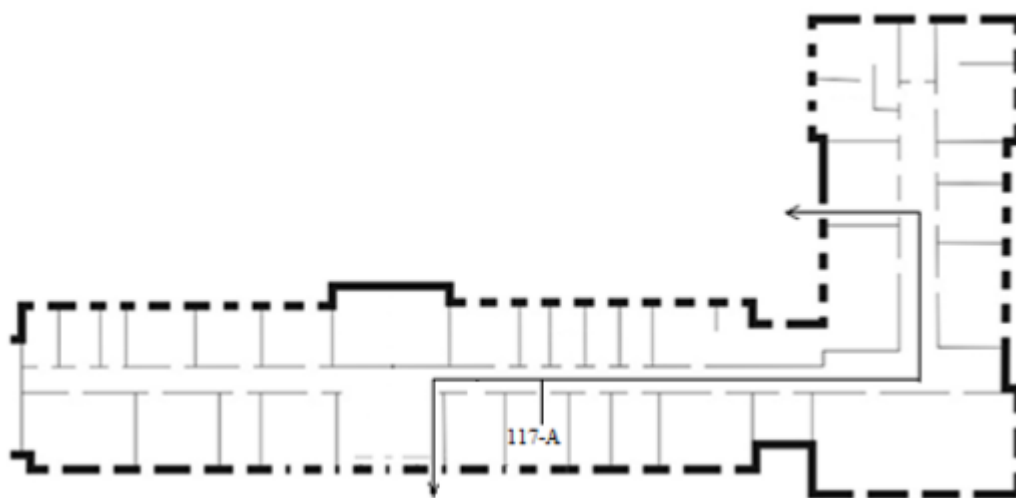


Рисунок 19 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить

федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”.

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль.

Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарноэпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Рабочее место - это часть пространства, в котором работник осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [40].

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене.

Письменный стол и офисное кресло являются главными составляющими на рабочем месте. Основным рабочим положением является положение сидя.

Кроме того, необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110)°.

Заключение

В результате выполненной работы построены математические модели объекта управления шахтным подъемником с невесомым и тяжелым тросом с распределенными параметрами. При математическом описании шахтный подъемник был представлен упругой трехмассовой электромеханической системой с интервальными параметрами. Установлено, что тяжелый трос может быть представлен двумерным линейным звеном входами которого являются удлинения концов троса, а выходами – приращения сил натяжения на этих концах.

После построения структурных схем СУ ШП определена ее передаточная функция и ИХП. Проведен анализ ЧХ объекта управления ШП и установлены его динамические свойства при изменении параметров троса.

Для параметрического синтеза регулятора СУ ШП применен коэффициентный метод, на основе которого разработан алгоритм построения желаемого ИХП с допустимой колебательностью. Он позволяет по известным интервалам 2-х старших коэффициентов полинома определить интервалы остальных коэффициентов ИХП. На основе найденных интервалов определены диапазоны допустимых значений параметров регулятора, обеспечивающих в системе заданную секторную устойчивость.

В работе в MatLab Simulink проведен анализ переходных процессов системы управления шахтным подъемником при различных длинах невесомого и тяжелого троса. Результаты компьютерного моделирования подтвердили выводы, полученные на основании проведенных теоретических исследований.

В работе также рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, вопросы социальной ответственности.

Список публикаций

1. А.У. Байтурсынова, С.А. Гайворонский. Синтез робастного регулятора на основе желаемого интервального характеристического полинома системы // Научная сессия ТУСУР–2019: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 частях. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – 119-122с.

Список использованных источников

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины : учебник для вузов / М.П. Александров. – М.: Высш. шк., 2000. – 552 с.
2. Дроздова Л.Г. Стационарные машины: учеб. пособие / Л.Г. Дроздова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 157 с.
3. Головач И.В. Математическая модель однобарабанной подъемной установки для производства гидропонной продукции / И.В. Головач, Г.М. Калетник, И.Е. Кравченко // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. – 2011. – №9 – 151-155 с.
4. Кувшинов Г.Е. Влияние морского ветрового волнения на глубоководный привязной объект: монография / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 215 с.
5. Кувшинов Г.Е. Системы управления глубиной погружения буксируемых объектов: монография / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 285 с.
6. Терехов В.М. Учет упругости длинных канатов в динамике электропривода подъемников / В.М. Терехов // Электричество. – 1966. – №3 – 60-65 с.
7. Уалиев Г. Некоторые методы построения динамических моделей многомассовых механических систем с упругими звеньями / Г. Уалиев, З.Г. Уалиев, И.М. Уалиева // Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2015. – Т.36 – 106-113 с.
8. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г.Ф. Зайцев. — 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Высш. шк., Головное изд-во, 1989. — 431 с.
9. Теория автоматического управления / Н.А. Бабанов, А.А. Воронов, А.А. Воронова, Г.Д. Дидук, Н.М. Дмитриева, Д.П. Ким, Б.М. Менский, П.Н. Попович; Под ред. А.А. Воронова. // Учеб. для вузов. В 2 ч. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления /— 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.

10. Представление длинных упругих канатов в системах автоматического регулирования / В.А. Бейнарович, А.Г. Бородин, А.Д. Кожуховский, С.А. Копанез, Л.С. Удут // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 285. – 100-104 с.
11. Осипова Т.Н. Уменьшение динамических нагрузок в канатах барабанных подъемников / Т.Н. Осипова, А.П. Нестеров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011. – № 68 – 17-22 с.
12. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер; 2002. – 448 с.
13. Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB / С.В. Поршнев. – М.; Горячая Линия – Телеком, 2003. – 592 с.
14. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза/ Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. – М., 1986. – 256 с.
15. Ким Д.П. Синтез систем управления максимальной робастной степени устойчивости / Д.П. Ким // Известия РАН. Теория и системы управления., 2007. – №532 – 52-57 с.
16. Езангина Т.А. Параметрический синтез линейного регулятора для интервального объекта управления / Т.А. Езангина, С.А. Гайворонский // 1 Мехатроника, автоматизация, управление 34., 2013. – №9 – 5-9 с. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.
17. Хлебалин Н.А. Построение интервальных полиномов с заданной областью расположения корней / Н.А. Хлебалин // Аналитические методы синтеза регуляторов: Межвуз. научн. сб. Саратов: Сарат. Политехн. ин-т, 1982. – 92-98 с.

18. Подчукаев В.А. Аналитический метод построения гурвицевых интервальных полиномов: Автоматика и телемеханика / В.А. Подчукаев, И.М. Светлов., 1996. – №2 – 89-100 с.
19. Римский Г.В. Корневой метод синтеза полиномов / Г.В. Римский // Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 1995. – №3. – 107-114 с.
20. Замятин С.В. Решение задачи размещения полюсов линейной интервальной динамической системы в заданном секторе / С.В. Замятин, С.А. Гайворонский // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Том 309, № 5. –16-20 с.
21. Шокин Ю. И. Интервальный анализ / Ю.И. Шокин. – Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1981. – 111 с.
22. Гусев Ю.М. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов / Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов, В.Г. Крымский // Техническая кибернетика. – 1991. – №1 –3-30 с.
23. Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 356 с.
24. Панин В.Ф. Экология для инженера: под ред. Проф. В.Ф. Панина / В.Ф. Панин, А.И. Сечин, В.Д. Федосова – М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с.
25. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
26. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
27. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
29. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

31. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

32. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие / Ю.А. Амелькович, Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина, М.В. Гуляев, М.Э. Гусельников, А.Г. Дашковский, Т.А. Задорожная, В.Н. Извеков, А.Г. Кагиров, К.М. Костырев, В.Ф. Панин, А.М. Плахов, С.В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236 с.

33. СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно – технической документации.

34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»

35. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

36. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативнотехнической документации.

37. ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативнотехнической документации.

38. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.

39. Нагорный В. М. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта: Под ред. В.В. Шевченко / В. М. Нагорный, Г. М. Федоров. – [Электронный ресурс].

40. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

Приложение А
(обязательное)

Введение

Introduction

Раздел 1. Математическая модель объекта управления шахтным подъемником

Section 1. Mathematical model of control object of mine elevator

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Байтурсынова Алтынай Усеиновна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР, ИШИТР	Гайворонский С. А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

Introduction

One of the areas of computer-aided manufacturing in the industry is the use of lifting electromechanical systems (EMS), which use long ropes. Such systems include, for example, mine lifts, cranes, overhead rope cars, tow ropes, antenna systems and other devices.

The mine lifting unit is the main transportation complex, which connects the underground part of the mine with the surface. By means of lifting installation checking and maintenance service of shafts and racks is carried out. In addition, such installations lower and raise people, transport mining equipment and materials. In large mines, there are usually two or three operating hoists, and each of them is intended to certain purposes. As a result of mining available mineral deposits mines have to go deeper into the ground. Therefore, in order to maintain a high level of performance lifting equipment must have a high speed of movement of lifting vessels and a large load capacity.

The rhythmic work of the entire mine depends on the reliable, uninterrupted and productive work of the mine lift, so the lifting installations have special requirements for reliability and safety. Lifting machines are the most powerful of all stationary equipment at the mine. The power of the electric drive of the lifting machine reaches 1000 kW, a large – 2000 kW and above. As a lifting machine shall have robust management and continuously acting braking device.

Figure 1 shows the scheme of the lifting unit for vertical shafts, where: 1-block counterweight, 2-counterweight, 3-rope, which is suspended counterweight, 4-mast lift, consisting of sections of 1.5 m., 5-wall mounting (support), 6-cargo lift cabin, 7-control cabin (driver), 8-engine compartment (carriage), 9-mowing mounting, 10-electric Cabinet, 11-electric rope, 12-station lower level.

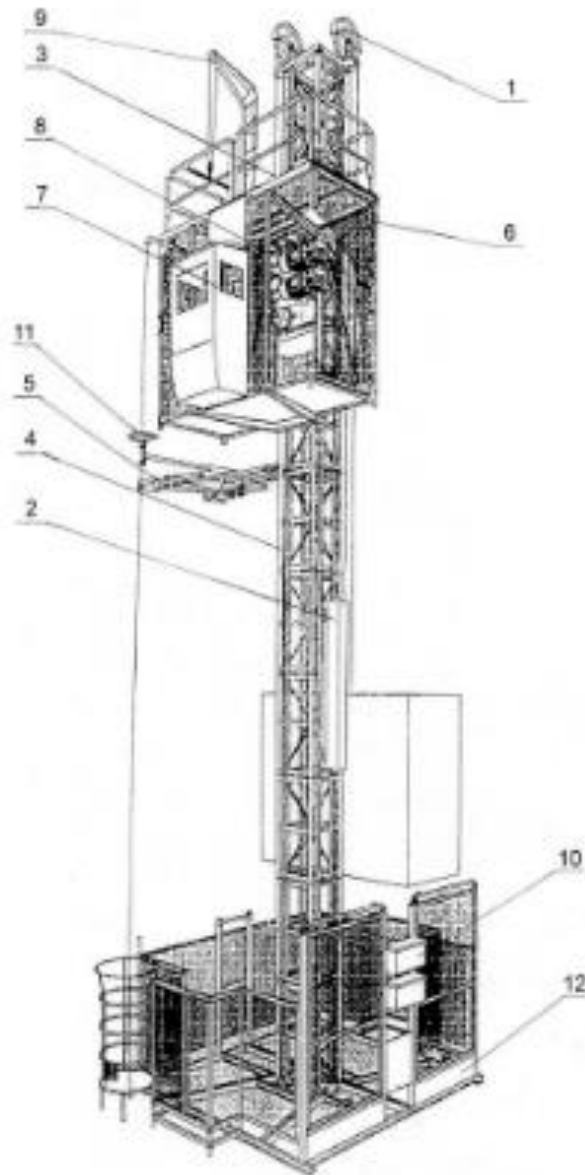


Figure 1 – Scheme of lifting unit

The basic assumptions used in the simulation of the load-lifting system are as follows:

- 1) no external friction and aerodynamic drag force;
- 2) no transverse vibrations of the ropes;
- 3) hoisting ropes of short length are weightless;
- 4) the rope at the points of run on the drum and the descent from the drum does not slide relative to the winding surface;
- 5) long lifting ropes are weighty.

If the length of the rope is small, the elastic wave reaches the opposite end of rope within a very short period of time. This is the justification for one of the main assumptions in the study and solution of problems of dynamics of systems with concentrated masses, where it is assumed that the elastic wave along the rope propagates instantly.

If the depth of the mine lifts exceeds 1000 m, it is impossible to neglect the time of propagation of elastic waves, as it is significant. It is necessary to consider in more detail the movement of individual segments of the rope, given that the characteristics of the rope are distributed along its length.

If the length of the rope is hundreds of meters and even kilometers, its mass is significant and reaches several tons. This rope is called heavy, and analyzing the dynamic properties of this type of rope, it is necessary to consider its element c mass distributed along the length. The difference between a heavy rope and a weightless one is that the growth of the tension force at one end is transmitted at a finite speed of propagation, not instantaneously.

As the descent or the rise of the cargo compartment of mine lifting significantly change the parameters of the rope (at known intervals), it will change the dynamic properties of the control system of mine lifting. Since lifting systems are elastic systems with a possible manifestation of resonance properties, the main requirement for such systems is a limitation on oscillation. This feature must be taken into account in the synthesis of controllers of control systems mine lifting.

Thus, the objectives of the WRC are the preparation of mathematical models that reflect the basic properties of the control system with weightless and heavy ropes, the use of these models for the analysis and synthesis of the control system controller with interval parameters, modeling of control processes with the synthesized controller.

1 Mathematical model of control object mine hoist

1.1 The object model of the control mine lift with a weightless rope

As a mathematical description of the mine lift, a three-mass electromechanical system is used (figure 2).

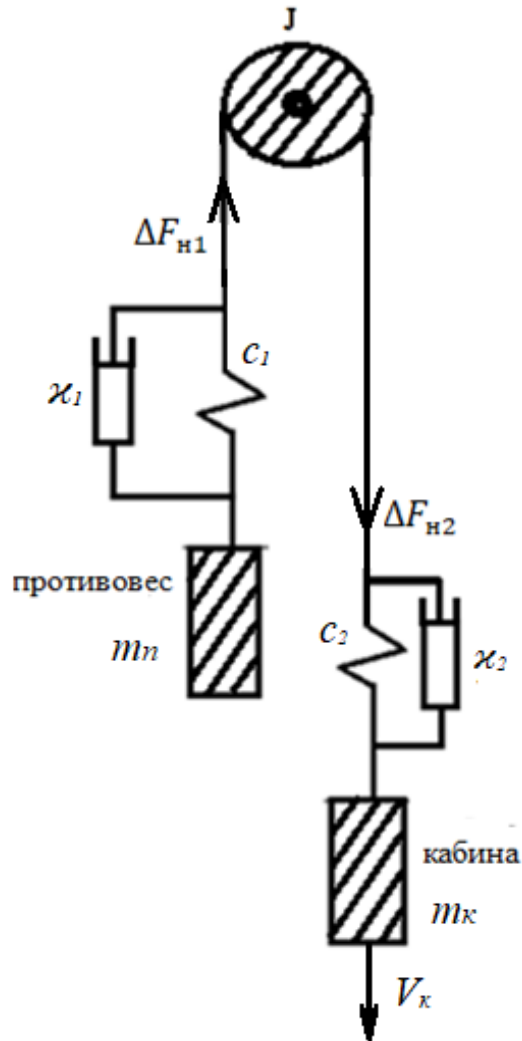


Figure 2 - Design the kinematics of system three-mass with weightless rope

On the basis of figure 2 we write the differential equation of the three-mass system:

$$m_k \cdot s \cdot \Delta V_k = \Delta F_{H1} - \Delta F_{H2} \quad (1.1)$$

$$m_n \cdot s \cdot \Delta V_n = -\Delta F_{H2}, \quad (1.2)$$

$$\Delta F_{H1} = \left(\frac{c_1}{s} + \kappa_1 \right) \cdot (r \cdot \Delta \omega - \Delta V_k), \quad (1.3)$$

$$\Delta F_{H2} = \left(\frac{c_2}{s} + \kappa_2 \right) \cdot (\Delta V_n - r \cdot \Delta \omega), \quad (1.4)$$

$$J \cdot s \cdot \Delta\omega = i \cdot \Delta M + r \cdot (F_{H2} - F_{H1}), \quad (1.5)$$

$$\Delta M = C_M \cdot \Delta I_A, \quad (1.6)$$

$$\Delta I_A = \frac{1}{R_A} \cdot \Delta U_A, \quad (1.7)$$

$$\Delta U_A \cdot s = \Delta U_y \cdot \beta \cdot k_{yc} \cdot (\tau \cdot s + 1), \quad (1.8)$$

$$W_{\text{per}}(s) = (k_1 s + k_0)/s, \quad (1.9)$$

where $\Delta F_{H1}, \Delta F_{H2}$ – increment of the forces of tension respectively of the first and second sections of the rope;

$\Delta\omega$ – the increase in the angular speed of the drive unit;

ΔM – the increment of torque of the electric motor;

$\Delta V_n, \Delta V_K$ – increments of linear speeds according to the center of gravity of the cabin and the counterweight;

$s = d/dt$ – differential operator;

m_K, m_n – the weight of the cabin and counterweight;

c_1, c_2 – stiffness coefficients of the first and second sections of the rope, respectively;

κ_1, κ_2 – internal damping coefficients of the first and second sections of the rope respectively;

J – the total moment of inertia of the electric drive reduced to the output shaft of the reducer;

i – transfer quantity of reduction;

r – radius of block;

C_M – the transmission coefficient of the engine moment;

$k_{yc}, k_{\Delta B}, k_{\Delta C}$ – the coefficients of the transmission gain, respectively, of the engine, the sensor resistance;

U_3 – the increment of the input voltage motor;

R_A – motor armature circuit resistance;

I_A – the increment of current in the circuit motor armature.

W_{per} – transfer function of PI - controller.

On the basis of differential equations the block diagram of control system of mine elevator, is made (figure 3).

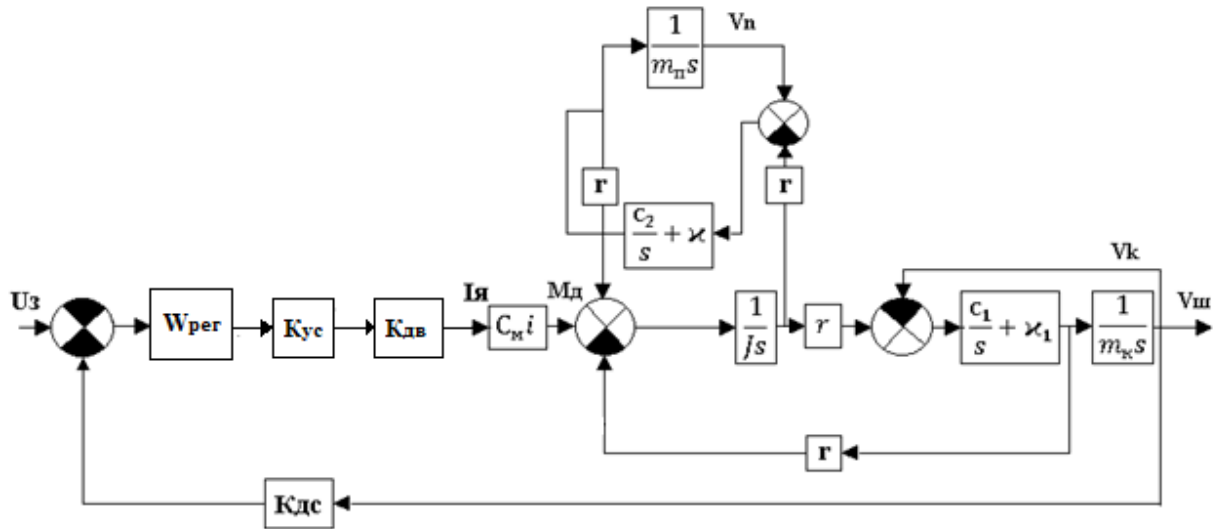


Figure 3 - Block diagram of a control system of mine elevator with a weightless rope

In this system, the interval parameters are: m_k – the weight of the cabin; c_1, c_2 – stiffness coefficients of the first and second sections of the rope, respectively; κ_1, κ_2 – internal damping coefficients of the first and second sections of the rope respectively. Below there are the parameters of the control system of mine elevator (table 1.1).

Table 1.1 - Numerical value of parameters of control system of mine elevator

k_{yc}	τ, c	$\frac{R_{я,}}{O_M}$	C_M	r, m	i	β	c_{y0}, H	$\frac{\kappa_{yд}, H}{\cdot c}$	$m_n, \kappa 2$	$\frac{J,}{\kappa 2 \cdot M^2}$	k_{dc}
30	1.33	0.83	0.85	0.5	100	1.5	$19.2 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	2000	10	2

According to the scheme in figure 3, we define the transfer function of closed – loop controls of mine elevator:

$$W_{oy}(s) = \frac{[b_4]s^4 + [b_3]s^3 + [b_2]s^2 + [b_1]s + [b_0]}{[a_6]s^6 + [a_5]s^5 + [a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0]}, \quad (1.10)$$

where $[b_0] = i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дБ}[c_1][c_2]$;

$[b_1] = i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{дБ}[c_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дБ}[\kappa_2][c_1 + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{дБ}[\kappa_1][c_2]$;

$$\begin{aligned}
[b_2] &= i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[c_1] m_{\Pi} + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_2][c_1] + \\
&+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_1][\kappa_2]; \\
[b_3] &= \\
&= i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[c_1] m_{\Pi} + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_1] m_{\Pi} + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_1][\kappa_2]; \\
[b_4] &= i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дв}}[\kappa_1] m_{\Pi};
\end{aligned}$$

The interval characteristic polynomial can be written from the expression (1.10):

$$\begin{aligned}
[a_0] &= i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[c_1][c_2]; \\
[a_1] &= i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[c_1][c_2] + i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_2][c_1] + \\
&+ i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1][c_2]; \\
[a_2] &= J[c_1][c_2] + [m_{\kappa}][c_1][c_2]r^2 + +m_{\Pi}[c_1][c_2]r^2 + i[k_0]k_{yc}C_Mrm_{\Pi}k_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[c_1] + \\
&+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[c_1][\kappa_2] + i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1][c_2] + \\
&+ i[k_0]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1][\kappa_2]; \\
[a_3] &= J[c_1][\kappa_2] + J[c_2][\kappa_1] + [m_{\kappa}][\kappa_2]r^2[c_1] + [m_{\kappa}][\kappa_1]r^2[c_2] + m_{\Pi}[\kappa_2]r^2[c_1] + \\
&+ m_{\Pi}[\kappa_1]r^2[c_2] + +i[k_1]k_{yc}C_Mrm_{\Pi}k_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[c_1] + i[k_0]k_{yc}C_Mrm_{\Pi}k_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1] + \\
&+ i[k_1]k_{yc}C_Mrk_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1][\kappa_2]; \\
[a_4] &= J[m_{\kappa}][c_2] + Jm_{\Pi}[c_1] + J[\kappa_1][\kappa_2] + [m_{\kappa}]m_{\Pi}r^2[c_1] + [m_{\kappa}]m_{\Pi}r^2[c_2] + \\
&+ [m_{\kappa}][\kappa_1][\kappa_2]r^2 + m_{\Pi}[\kappa_1][\kappa_2]r^2 + i[k_1]k_{yc}C_Mrm_{\Pi}k_{\text{дс}}k_{\text{дв}}[\kappa_1]; \\
[a_5] &= J[m_{\kappa}][\kappa_2] + Jm_{\Pi}[\kappa_1] + [m_{\kappa}]m_{\Pi}r^2[\kappa_1] + [m_{\kappa}]m_{\Pi}r^2[\kappa_2]; \\
[a_6] &= J[m_{\kappa}]m_{\Pi};
\end{aligned}$$

1.2 The model of the plant mine lift with a heavy rope

We solve the problem of representing a flexible elastic heavy (weighty) vertically located rope of long length in the form of a linear dynamic link automatic control system.

When the upper end of the rope is fixed, the tension force of the rope is regulated by the force applied to one of the ends. In the problem under consideration (figure 4), a flexible homogeneous vertically arranged rope of length l is under the influence of two tensile forces applied to the upper (ΔF^B) and lower (ΔF^H) ends of

the rope. In the steady state (static) it is obvious that at the top of the rope force (ΔF^B) is the sum of the force (ΔF^H), and the weight of the rope m_T . Thus, for a vertical homogeneous flexible rope with a known weight m_T , the static tension forces at any point uniquely depend on the distance from the end of the rope and the magnitude of the tension force ΔF^H at the lower point.

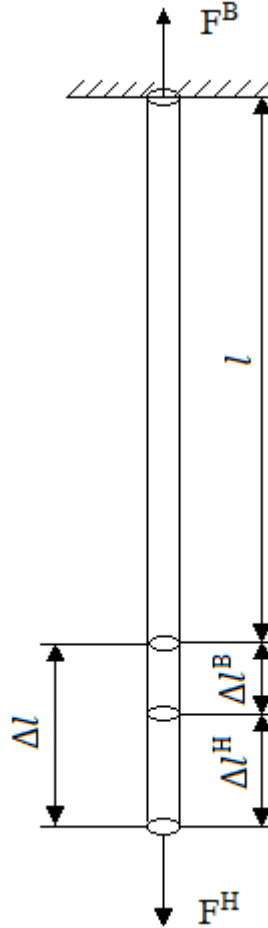


Figure 4 – Uniform vertical rope

Using the theory of vibrational systems with distributed parameters. On the basis of it, we obtain transfer functions that describe the laws of transmission of the increment of the tension force of the rope from one end to the other. We introduce the following notations:

- F^B – the increment of the tension force of the upper end of the rope,
- F^H – the increment of the tension force of the lower end of the rope,
- Δl^H – extension of the lower end of the rope,
- Δl^B – extension of the upper end of the rope,

m_T – the mass of the rope.

According to the theory, the transfer function between the extension of the rope at one end and the increment of the tension force on it has the form:

$$W_l(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = \frac{C_{yD} \sqrt{b} \cdot ch(l\sqrt{b})}{sh(l\sqrt{b})}, \quad (1.11)$$

where $b = \frac{s}{a^2}(s + 2h)$, $2h = \frac{\chi_{yD}}{m}$, $a^2 = \frac{C_{yD}}{m}$, C_{yD}, χ_{yD} – accordingly, the specific value of the stiffness and internal damping of the rope. Note that after the appearance of the increment of the tension force at one end of the rope, it is transferred to the other end in accordance with the transfer function:

$$W^F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{1}{ch(\sqrt{lb})} \quad (1.12)$$

If hyperbolic functions in expressions (1.11) and (1.12) are decomposed into power series and limited to the consideration of only the first two terms:

$ch\sqrt{l^2 b} = 1 + \frac{bl^2}{2}$, $sh(\sqrt{l^2 b}) = \sqrt{l^2 b}(1 + \frac{bl^2}{6})$, the transfer functions (1.11) and (1.12) will take the form respectively:

$$W_l(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = 3C_{yDT} \frac{l^2 m}{l^3 m} \frac{s^2 + \chi_{yD} l^2 s + 2C_{yD}}{s^2 + \chi_{yD} l^3 s + 6C_{yD} l} \quad (1.13)$$

$$W_F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{2C_{yD}}{l m} \frac{s^2 + \chi_{yD} l s + 2C_{yD}}{s^2 + \chi_{yD} l^3 s + 6C_{yD} l} \quad (1.14)$$

On the basis of the received transfer functions (1.13) and (1.14) the block diagram of the heavy rope given in figure 5 is made.

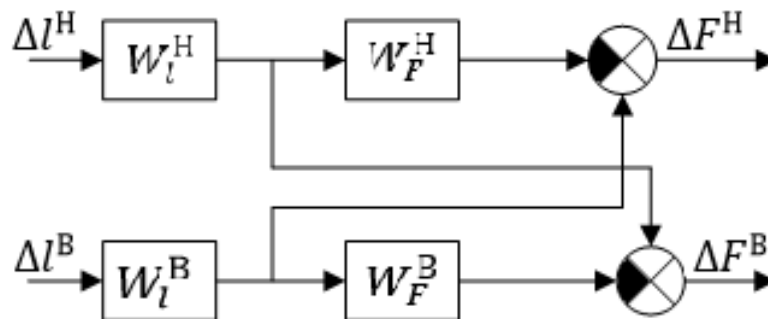
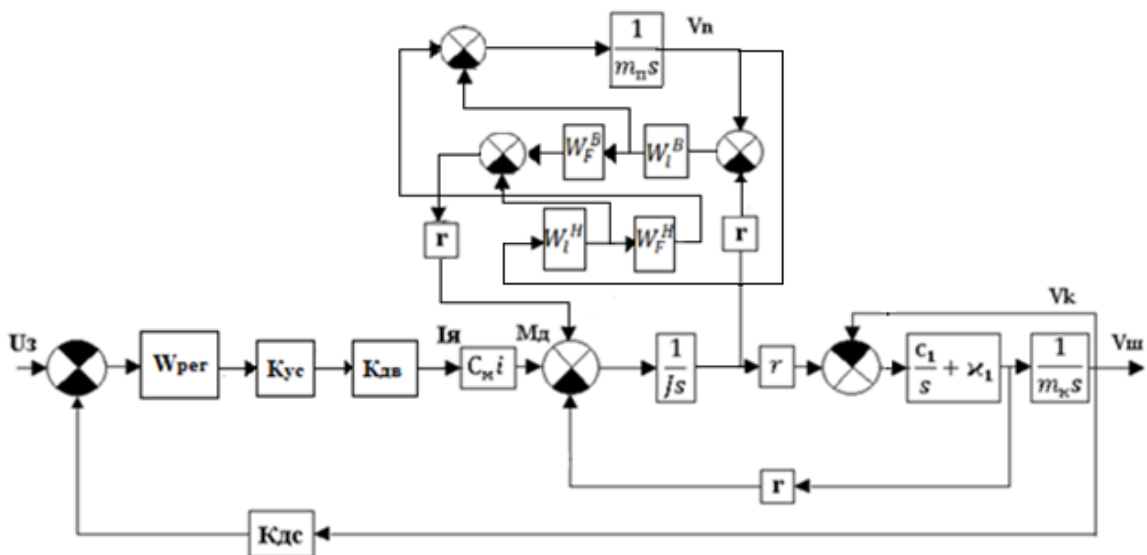
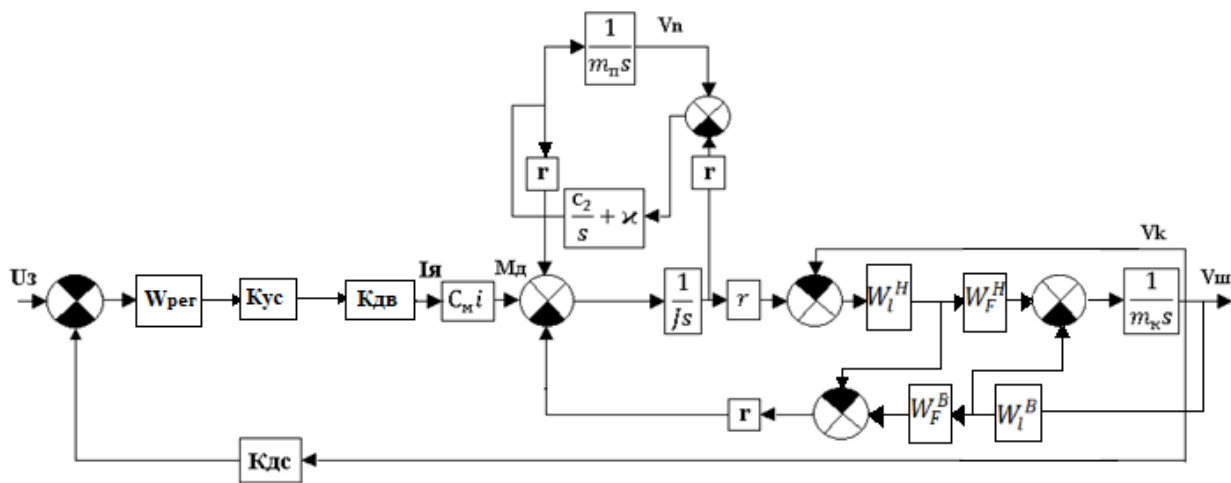


Figure 5 - Structural plague of heavy rope



a)



b)

a) rope from the counterweight side; b) rope from the cabin side

Figure 6 – Block diagram of control system with heavy rope

Conclusion

As a result of the research on the basis of the differential equations of the three-mass electromechanical system, the models of the object of control of the mine lift with a weightless and heavy rope in the form of structural schemes are made. On their basis, the transfer functions of the control system of the mine hoist are determined and its interval characteristic polynomial is obtained.